

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

33/85

وزارة التعليم والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

1ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état

**Sujet**

**Etude des structures et propriétés  
des aciers soudés à l'arc  
automatiques sous flux**

1 PLAN

Proposé par :

Mr PAVLOV

Etudié par :

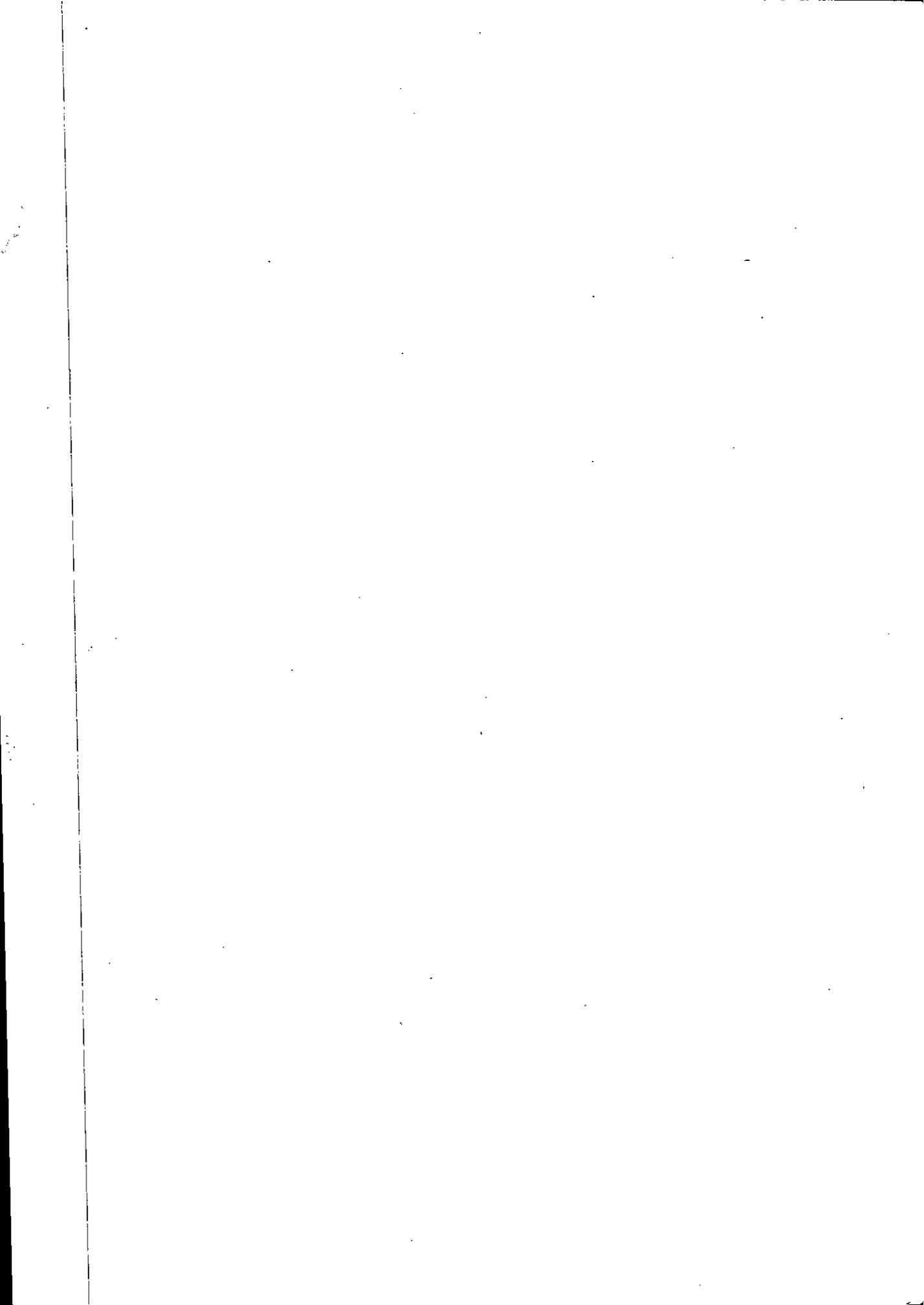
KOUADRIA Nourreddine

Dirigé par :

Mr PAVLOV

Promotion : Juin 85

ENP - 10, avenue Hacen Badi - EL HARRACH - ALGER



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

»◀

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

**Sujet**

**Etude des structures et propriétés  
des aciers soudés à l'arc  
automatiques sous flux**

Proposé par :

Mr PAVLOV

Etudié par :

KOUADRIA Nourreddine

Dirigé par :

Mr PAVLOV

Promotion : Juin 85

ENP - 10, avenue Hacen Badi - EL HARRACH - ALGER

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

وزارة التعليم العالي  
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

Département GENIE MECANIQUE  
Promoteur ..... PAVLOV

دائرة : الميكانيكا  
موجه : بافلوف

Élève Ingénieur: KOUADRIA NOURREDDINE

تلميذ مهندس : كوادرية نورالدين

الموضوع : دراسة بنية وخواص الفولاذ الملحوم بالقوس الكهربائي  
الأتوماتيكية تحت التدفق  
الملحوم :

الهدف من هذا المشروع هو دراسة طريقة اللحام  
بالقوس الكهربائي الأتوماتيكية تحت التدفق ،  
مختلفة العوامل ، والخواص ، آلة اللحام ، تأثير هذه العوامل  
على ابعاد شريط اللحام وخواص وبنية الفولاذ الملحوم

sujet : Etude des structures et des propriétés des aciers soudés  
à l'arc automatique sous flux

Résumé :  
Le but de ce projet est l'étude du procédé de soudage  
à l'arc automatique sous flux, les différents paramètres, les  
mécanismes de soudage, l'influence de ces paramètres sur les dimen-  
sions de la soudure, des propriétés et les structures des  
aciers soudés

Subject: The study of structures and properties of the welded  
steel with the automatic mechanism through flux  
Abstract: The aim of this project is the study of an automatic  
welding process with flux, with the different parameters.  
Involved welding mechanism and the influence of these  
features study of the dimensions of solder wire, the  
structure and properties of welded steel

-- R E M E R C I E M E N T S --

Je tiens à remercier vivement :

- Mon promoteur Monsieur PAVLOV, Professeur a L'E.N.P pour son suivi rigoureux et pour ses conseils bénéfiques qu'il m'a cessé de me prodiguer durant toute la période de préparation de mon projet de fin d'études.
- Tous les Professeurs et en particulier ceux du département de GENIE-MECANIQUE, qui ont contribué à ma formation d'ingénieur.
- Enfin je remercie, Collègues, Amis qui m'ont aidé de près ou de loin, matériellement ou moralement, sans oublier ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

-- D E D I C A C E S --

- A mes très chers parents et ma chère grand(mère
- A mes frères et soeurs.
- A mes oncles, à mes tantes et à leurs familles.
- A tous mes amis et à tous mes collègues de la promotion Juin 85.

Je dédie cet humble travail

NOURREDINE KOUADRIA.

-- S O M M A I R E --

CHAPITRE	PAGE
-I- INTRODUCTION -----	1
-II- Soudage à l'arc automatique sous flux solide -----	3
- II - 1 Généralités -----	3
- II - 2 Principe de soudage automatique sous flux -----	3
- II - 3 Contrôle de la longueur d'arc -----	5
- II - 4 Choix du couple fil flux -----	6
-II-4-1 Le fil électrode(métal d'apport) -----	6
-II-4-2 LE flux (élément de protection) -----	8
- II - 5 Détermination des conditions de soudage -----	12
-II-5-1 Principaux paramètres de soudage -----	12
-II-5-2 Choix des différentes variables -----	12
-III- Choix du métal de base -----	16
- III - 1 Généralités -----	16
- III - 2 - 1 Influence des principaux éléments sur les propriétés de base -----	17
- III -2-2 Influence des impuretés -----	20
- III-3 Soudabilité du métal de base -----	22
III-3-1 Définition -----	22
III-3-2 Soudabilité opératoire -----	22
III-3-3 Soudabilité métallurgique ou locale -----	23
III-3-4 Soudabilité constructive ou globale -----	23
III-3-5 Soudabilité des aciers -----	24
-III-4 Notions sur le carbone équivalent -----	25
-III-5 Carbone équivalent compensé ( C.E.C ) -----	26
-III-6 Détermination de la température de préchauffage -	27
-IV- Notions sur les phénomènes thermiques et métallurgiques du soudage -----	28
IV-1-a Notion sur la métallurgie de soudage -----	28
IV-1-b Zone fondue -----	28

IV-1-1	Modification de la composition chimique de la zone fondue -----	29
IV-1-2	Structures brutes de solidification -----	29
IV-1-3	Absorption des gaz -----	30
IV-2	Zone affectée par la chaleur -----	30
IV-3	Durée de refroidissement d'un assemblage soudé -----	34
IV-4	Diagramme de transformation ou refroidissement continu sous l'effet des cycles thermiques de soudage -----	34
IV-5	Phénomènes de fissuration dans les assemblages soudés ---	36
IV-5-1	Fissuration à chaud -----	36
IV-5-2	Fissuration à froid -----	39
IV-6	STRUCTURE métallurgique optimale -----	40
IV-7	Application des paramètres de refroidissement aux conditions de soudage -----	42
IV-7-1	Détermination des durées de refroidissement = $\Delta t$ <sup>300</sup> <sub>500</sub> -----	42
V-	Etude expérimentale -----	46
V-1	Préparation des pièces soudées et des échantillons ---	46
V-2	Examen macrographique des soudures -----	47
V-3	Examen micrographique -----	48
V-4	Essais mécaniques -----	51
V-4-1	Essai de traction -----	52
V-4-2	Essai de résilience -----	53
V-5	Essai de dureté -----	55
V-5-1	Essai Vickers -----	55
V-6	Conclusion -----	58
VI -	Equipement pour le soudage automatique sous flux -----	59
VI-1	Généralités concernant les équipements pour le soudage à l'arc automatique sous flux -----	59
VI-2	Description du chariot T.C 17.M -----	60
VI-3	Les données -----	61

VI-4e	Calcul de la puissance utile -----	61
VI-4-1	Choix du moteur -----	63
VI-5	Choix du réducteur pour l'entraînement du fil -----	64
VI-5-1	Schéma cinématique -----	65
VI-5-2	Dimensionnement et calcul des engrenages -	66
VII-	C O N C L U T I O N -----	84

## INTRODUCTION

Le problème de la mécanisation et de l'automatisation des travaux dans divers branches de l'industrie, est l'un des problèmes cruciaux de notre temps.

Fruit de nombreux travaux de recherche, des progrès importants ont été faits pour une meilleure maîtrise des procédés de soudage.

Au regard des solutions moulées ou rivées, la solution soudée a l'avantage de permettre une grande diversité de formules constructives assurant la robustesse, la rigidité, l'esthétique, la légèreté...

Le développement de l'industrie est en croissance dans la production des assemblages soudés, favorisant ainsi le processus de soudage ; bien que, cette croissance ne peut être réalisée que sur la base des progrès techniques, avec des méthodes nouvelles, ayant pour but, l'augmentation de la productivité et l'amélioration de la qualité.

Les applications de la technique du soudage, ont débuté pratiquement avec le vingtième siècle, mais ce n'est qu'aux dernières années qu'ils ont pris une réelle ampleur dans le domaine industriel. L'évolution lente à ses débuts, s'est ensuite accélérée de façon telle qu'on peut affirmer aujourd'hui que bien des conditions de notre vie moderne dépendent de la technique du soudage.

Le procédé de soudage à l'arc automatique sous flux, s'est considérablement développé dans de nombreux secteurs industriels tel que charpente métallique, ponts, appareils de levage, réservoirs sous pression navires, pipe lines ect....

Ces quelques exemples, qu'on pourrait d'ailleurs multiplier à l'infini montrent à suffisance que le soudage automatique est un facteur important en construction mécanique.

En Algérie, l'industrie est en pleine mutations, où la construction métallique soudée représente un débouché suffisamment important.

Vu les besoins de notre industrie pétrolière et chimique sa matière de moyens de stockage et de transport de ses produits, nous sommes persuadés que le développement de la construction soudée des réservoirs, des pipe-lines, des charpentes métalliques dans notre pays est d'une nécessité économique sans doute indispensable. Mais la réalisation de ses différentes conceptions exigent la maîtrise des problèmes délicats de la soudabilité des matériaux. Il est inévitable que le métal de base subit une dégradation au cours du soudage, qui induit des modifications évidentes et discrètes dans la microstructure de l'acier. Pour en limiter les effets néfastes, il est essentiel que le constructeur qualifie les phénomènes liés aux paramètres des procédés utilisés, et qu'il maîtrise les variations de ses paramètres autour des valeurs de consigne. Pour cela il m'apparut souhaitable d'aborder mon sujet "Etude des propriétés des structures des aciers soudés à l'arc automatique sous flux" par ce thème tout en montrant l'influence des différents paramètres sur le soudage et sur le soudage et sur la structure du métal de base. Malgré une abondante bibliographie traitant la métallurgie de soudure le dernier mot revient aux essais et leurs interprétations.

II - 1 SOUDAGE AUTOMATIQUE SOUS FLUX SOLIDE  
CODE NUMERIQUE I2I (D'APRES A.FNOR N.F.E 02I)

II - 1 GENERALITES

Le soudage à l'arc sous flux a été mise au point indépendamment aux U.S.A et en U.R.S.S vers 1935-1940. Cette solution a été utilisée pour automatiser le procédé ; il utilise un fil nu, le flux étant apporté sous forme de poudre qui couvre complètement le bain de soudage et l'extrémité du fil électrode.

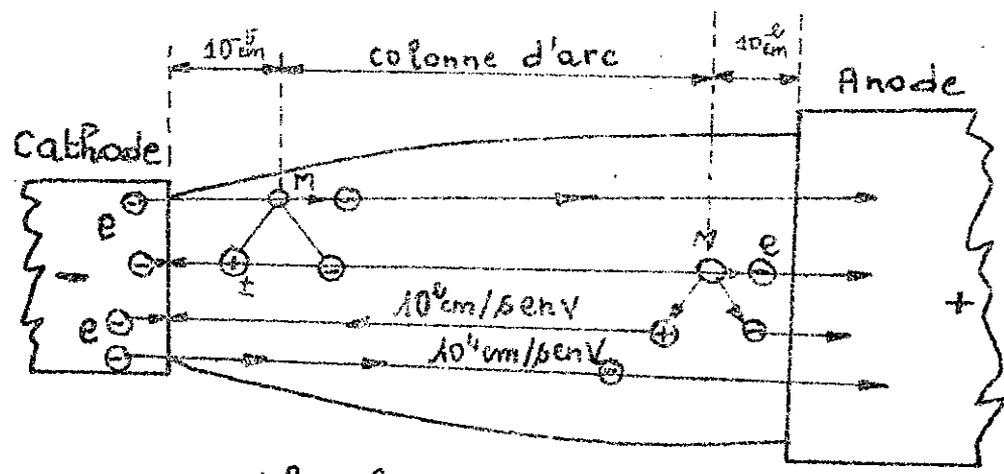
La source d'énergie est de type électrique, la quantité de chaleur dégagée pendant l'amorçage de l'arc électrique entre le fil électrode et les pièces à assembler permet une fusion instantanée des bords des pièces à souder et du métal d'apport.

Le courant peut être continu ou alternatif ; son intensité varie entre 200 et 2000 A. l'énergie dissipée est comprise entre 6 à 80 K W.

Le courant de soudage est débité par des générateurs sous faible tension  $U_c = 50$  à  $75$  V et  $U_s = 25$  à  $40$  V. Jusqu'à 1200 Ampère environ, on utilise le courant continu fourni par une génératrice ou un transformateur redresseur. Le fil électrode est en général relié au pôle (+). Au delà de 1200 ampère, le courant alternatif est préféré.

II - 2 PRINCIPE DE SOUDAGE AUTOMATIQUE SOUS FLUX SOLIDE

Le flux en poudre est déversé en talus autour du fil électrode ; un arc électrique jaillit à l'intérieur du flux, assurant la fusion simultanée des bords des pièces à souder et l'électrode.



O Molecule ⊕ ion ⊖ electron

fig I 1: Mecanisme de l'emission electronique dans les arcs électriques libres

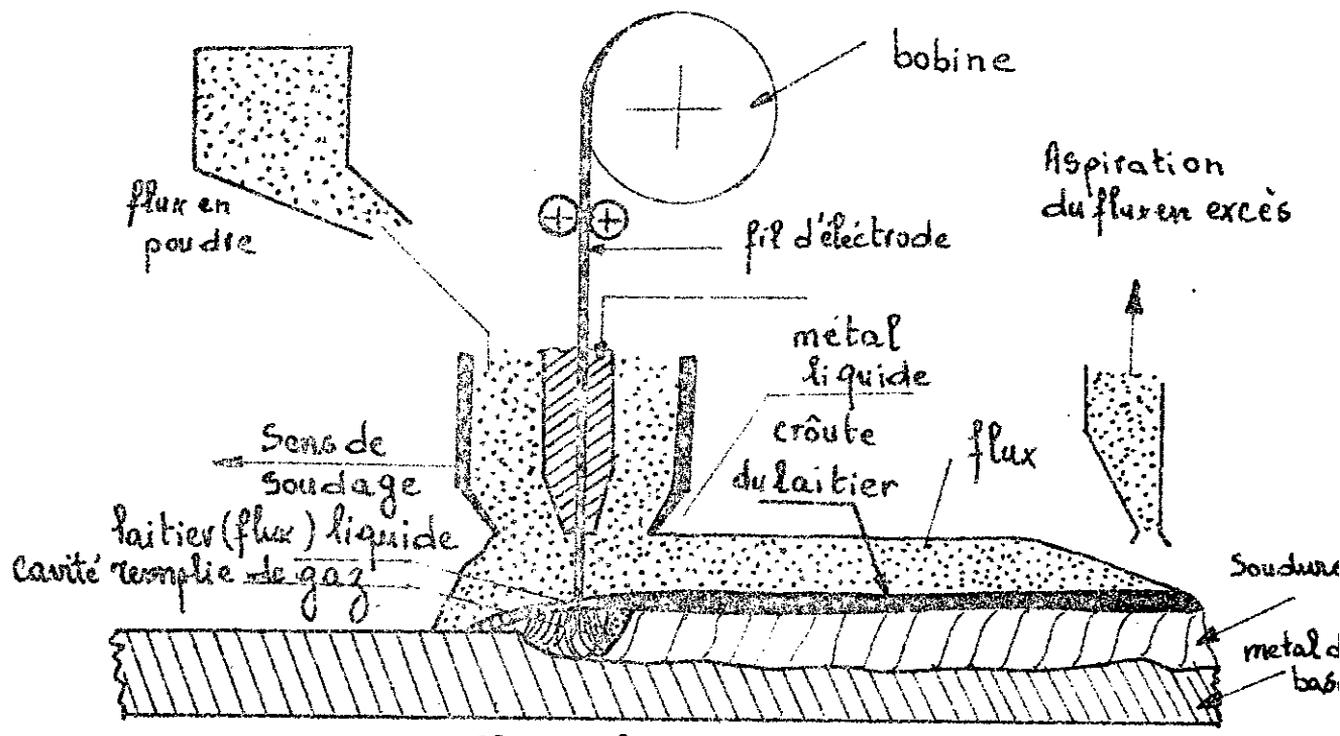


fig II 1 : Soudage sous flux solide schéma de principe

Le transfert du métal fondu dans l'arc de soudage aura lieu par gouttellettes enrobées de flux fondu. L'excédent de flux non fondu sera récupéré par un aspirateur ; La machine de soudage, ou la pièce à souder se déplace, assurant la vitesse de soudage.

## III - 2. CONTROLE DE LA LONGUEUR DE L'ARC.

La longueur de l'arc, ou sa géométrie gouverne la répartition énergétique entre l'électrode et la pièce ; C'est un élément important de la conduite d'une opération de soudage automatique.

Cette action doit être très rapide à cause de la rapidité du phénomène à corriger ; Pour conserver une longueur d'arc appropriée, on utilise généralement l'une des 2 méthodes suivantes :

1ere méthode se base sur une régulation vitesse-tension comme l'indique la figure III-2, tel une variation de la longueur d'arc engendre une variation de la tension, qui agit directement sur la vitesse de rotation du moteur. Le système de régulation se compose d'un générateur à courant continu (1) et d'un moteur électrique (2) à courant continu aussi, qui agit mécaniquement sur la vitesse d'avancement du fil électrode. Si la longueur d'arc augmente, ce qui provoque une augmentation de la tension donc la vitesse de rotation du moteur augmente ainsi que la vitesse d'avancement du fil ; afin de rétablir la longueur d'arc approprié. Dans le cas inverse la vitesse du moteur diminue donc la vitesse d'avancement du fil diminue aussi.

2-

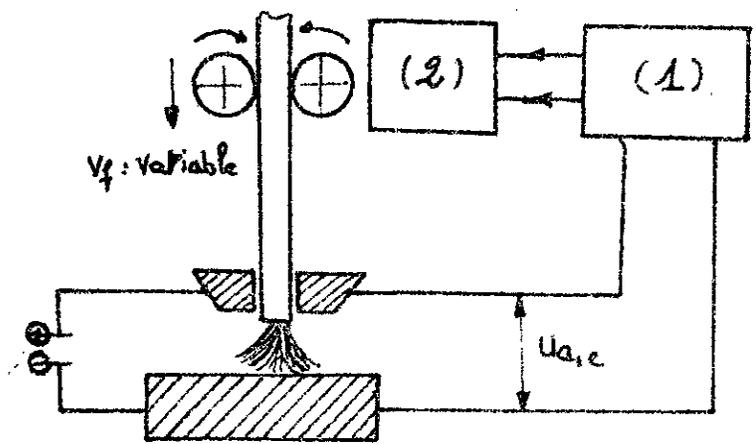
2eme méthode ; La plus utilisé, c'est une autorégulation, ou la vitesse d'avancement du fil reste constante. Les grandeurs qui jouent le rôle de la régulation de la longueur d'arc sont l'intensité du courant et la tension . La variation de la longueur d'arc engendre une variation de la tension et l'intensité du courant fig II-3 ce qui agit directement sur le taux de fusion ; tel que l'augmentation de la longueur d'arc, provoque une augmentation de la tension et une diminution de l'intensité du courant donc une diminution de taux de fusion dans le cas contraire on aura augmentation de taux de fusion.

II - 4 CHOIX DU COUPLE FIL - FLUX

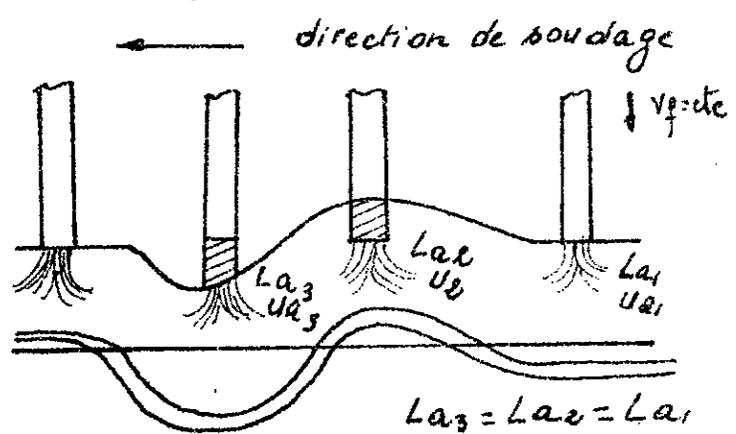
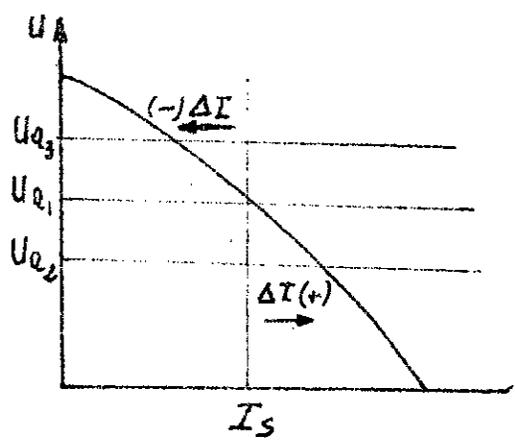
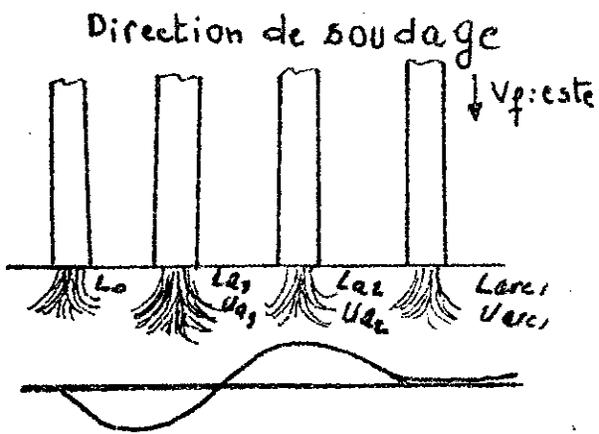
Le choix du couple fil flux dépend, de la nuance de l'acier à souder et des propriétés mécaniques recherchées au niveau du joint. A chaque type d'acier correspond un couple fil-flux, le choix se fait sur la base de guide de soudage automatique, tel que la combinaison entre le fil, flux, métal de base donne des caractéristique les plus proche que possible de cel du métal de base.

4-I LE FIL - ELECTRODE ( METAL D'APPORT)

Les fils sont de nuance approchée en fonction de la nature de l'acier, associés par fois à un flux aggloméré permettant l'amélioration de la qualité du métal déposé. Les diamètres les plus courant sont de 2 à 6 (mm) en fonction de l'intensité du courant. Les livraison en bobine de plusieurs centaines de mètres ; généralement il sont recouvertes d'une pellicule de cuivre. Ceci les protège contre la corrosion superficielle pendant le stockage, et permet un contact électrique facile pour l'arrivée du courant.



(fig II-2) Schema de controle de la longueur d'arc en soudage automatique regulation tension-vitesse



$La_3 = La_2 = La_1$

fig II-3 Controle de la longueur d'arc regulation tension-intensite

#### 4-2 LE FLUX (ELEMENT DE PROTECTION)

Il remplit les mêmes fonctions que l'enrobage en soudage à l'arc manuel. Conducteur du courant électrique à chaud, il participe à la formation du bain de fusion, et assure, en raison de son important dépôt, un refroidissement lent de ce dernier, indispensable pour le soudage de certains aciers.

Les flux utilisés ont une granulométrie contrôlée et peuvent être de type fondu, agglomérée ou fritté. Ils sont en général de type basique ou acide, avec parfois des éléments d'addition qui permettent de modifier sensiblement la composition chimique du métal déposé et les caractéristiques mécaniques du joint soudé. Pendant le processus de soudage une partie du flux fond pour recouvrir le bain et les particules métalliques quittant l'électrode, ce qui donne lieu à des réactions chimiques entre le métal et le flux. Ces réactions concernent en particulier le silicium et le manganèse, éléments importants du point de vue résistance et qualité de soudure.

La composition chimique du flux et sa granulométrie influent sur la tendance à la porosité. Les flux qui s'accrochent le mieux de surfaces sales ou rouillées sont ceux qui ont la perméabilité la plus grande, obtenus par des grains relativement gros et réguliers. Lorsqu'il est nécessaire de souder avec une forte intensité, on emploie un flux à granulométrie plus fine permettant une protection plus efficace de l'arc.



Fil d'acier inoxydable pour :

Designation de L'electrode	E.R 308L	E.R 347	E.R316L	E.R 318	E.R 309
C	0,02	0,06	0,03	0,06	0,03
Si	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
Mn	1,8	1,3	1,8	1,3	1,8
Cr	20	19	18	19	24
Ni	10	9	12	11	13
Mo	-	-	2,7	2,8	-
Nb	-	0,9	-	0,9	-
Propriete mecanique du metal depose.	(N/mm <sup>2</sup> ) Re : 340	-	400	-	-
	(N/mm <sup>2</sup> ) Rv : 540	-	570	-	-

LE TABLEAU SUIVANT INDIQUE LES PROPORTIONS APPROXIMATIVES DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES FLUX COURANTS

TYPE DE FLUX	50 %	80 %	70 %	20 %
Ca O	5	24	28	27
Ca F2	5	5	-	-
Mg O	-	12	6,5	7,5
Si O2	41	38	48	53
AL2 O3	2,5	13	5	5
Mn O	0,75	7,5	10	-
Mn O2	39	-	-	-

## II - 5 DETERMINATION DES CONDITIONS DE SOUDAGE

### II - 5-I PRINCIPAUX PARAMETRES DE SOUDAGE :

Les procédés de soudage qui utilisent l'arc électrique comme source d'énergie dépendent d'un certain nombre de variables, indépendantes ou non, sur lequel on peut agir en fonction du résultat recherché.

Les paramètres des plus importants sont :

- 1- Energie de soudage (En)
- 2- Tension d'arc
- 3- Diametre du fil électrode
- 4- Intensité du courant de soudage
- 5- Vitesse de soudage.

### II - 5-2 LE CHOIX DES DIFFERENTES VARIABLES

I- Energie de soudage : Elle influe sur la ductilité du matériaux et sur le niveau de la résilience, elle est donné par la formule  $En = \frac{Us Is}{Vs}$  (II - I)

ou  $Us$  = tension de soudage (volt)

$Is$  = intensité du courant de soudage (Ampère)

$Vs$  = Vitesse de soudage (m/s)

Cette energie doit être limité pour les aciers :

$$En = (20 \text{ à } 35 \text{ kJ / cm}).$$

- 2- Tension d'arc : Elle agit, dans une certaine mesure, sur la largeur du dépôt ; Cette dernière augmente quand la tension de soudage croît la tension optimal de l'arc se calcul d'après la formule suivante :

$$U_s = 20 + \frac{50}{(d_e)^{0,5}} I_0^3 I_s \pm I \quad (\text{II} - 2)$$

De = diamètre du fil électrode (mm) U s = (20±40 volt)

- 3- Diamètre du fil : il influe sur la pénétration , plus le diamètre est faible plus la pénétration est importante avec U<sub>s</sub>, I<sub>s</sub>, V<sub>s</sub> constants le diamètre de fil nécessaire peut être calculer approximativement par la formule empirique suivante :

$$D'e = 1,13 \sqrt{\frac{I_s}{J}} \quad (\text{II} - 3)$$

J = densité admissible du courant donnée par le tableau N  $\cong$  (II-I) pour que le choix arbitraire soit acceptable, il faut que d'e < d e .

- 4- Intensité du courant de soudage :  
La pénétration est directement proportionnelle à l'intensité ; Cette dernière est également liée à la vitesse de fusion du fil -électrode. Cette intensité sera calculé par la formule ci-dessous :

$$I_s = \frac{HI}{K h} \times 100 \quad (\text{II} - 4)$$

$H I = \frac{e}{2} + (I + 2) \text{ mm}$  --- pour le soudage des 2 cotés.  
 $H I = \frac{e}{2} - 2 \text{ mm}$  ---- si le soudage s'effectue d'un seul coté.

$e$  = épaisseur de la tôle à soudé  
 $K h$  = Coefficient déterminant les conditions de soudage, il est donné pour le tableau  
 (n° = II - 2)

5- La vitesse de soudage :

La largeur du cordon est inversement proportionnelle à la vitesse à laquelle se déplace la tête de soudage. Une vitesse trop lente peut être la cause de déformation dues à un échauffement excessif ; de même elle influe sur la pénétration et les sur épaisseur du cordon. La vitesse de soudage sera déterminé par la formule suivantes :

$$V_s = \frac{A}{I_s} \quad (\text{II} - 5)$$

on  $A = (A. m / h)$  un paramètre donné par le tableau (n° = II - 3) suivant le diamètre du fil électrode.

6- Vitesse de déroulement du fil électrode noté  $V_d$   
 Cette vitesse est donnée par la formule suivantes :

$$V_d = \frac{4 I_s \alpha_p}{A(d) \gamma} \quad (\text{II} - 5)$$

$\alpha_p$  = Coefficient de fusion du métal  $\alpha_p = (14 \div 18) [g/A \cdot h]$

$\gamma$  = densité du métal du fil  $\gamma = 7,8 [g/cm^3]$

Mode de soudage	diamètre de l'elect. rode de d[mm]	Kh [mm / 100 Amp]		
		Courant alternatif	Courant continue	
			Polarité directe	Polarité inverse
sous flux solide	2	1,25 ÷ 1,30	1,15	1,40 - 1,45
	3	1,10 ÷ 1,15	0,95	1,25 - 1,3
	4	1,00 ÷ 1,05	0,85 - 0,90	1,1 - 1,15
	5	0,95	0,75 ÷ 0,85	1,05 - 1,1
	6	0,90	—	—

Tableau N° II-1

de[mm]	2	3	4	5	6	
J[A/mm <sup>2</sup> ]	65 ÷ 200	45 ÷ 90	35 ÷ 60	30 ÷ 50	25 ÷ 45	

Tableau N° II-2

de[mm]	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
A[Amm/R] <small>× 10<sup>3</sup></small>	2 ÷ 5	5 ÷ 8	8 ÷ 12	12 ÷ 16	16 ÷ 20	20 ÷ 25	25 ÷ 30

Tableau N° II-3

### III LE CHOIX DU METAL DE BASE

#### III - I GÉNÉRALITES

Le choix du métal de base pour une tel conception dépend de plusieurs facteurs économiques, métallurgiques et constructives. Il doit satisfaire à un certain nombre d'exigences qui conditionnent une bonne qualité de fabrication tel que :

- La limite d'élasticité élevée et économie de masse du métal.
- La meilleure soudabilité possible.
- Les teneurs en éléments compromettant la qualité de la soudure contrôlées en construction mécanique; le métal de base doit assurer :

1- La stabilité de l'ensemble ; il doit donc avoir un certain nombre de propriétés mécaniques nécessaires aux fonctions exigées ;

2- La stabilité fonctionnelle de l'ensemble, c'est à dire permettre une certaine durée de vie exigée par la fonction qu'il doit remplir.

3- La stabilité réglementaire ; pour la fonction envisagé, le lieu, les conditions, climatiques .

Le soudage automatique, convient mieux aux aciers deux faiblement alliés et inoxydables. Le choix entre ces 3 types d'acier se fait selon la destination de la conception.

III - 2 INFLUENCE DES PRINCIPAUX ELEMENT SUR LES PROPRIETES DE BASE .

Les différents types d'acier ont une certaine composition chimique qui implique pour chacun d'eux une certaine aptitude au soudage. En raison du phénomène de dilution, la composition chimique du joint soudé peut varier au regard de celle du métal de base, par l'utilisation d'un métal d'apport ayant des caractéristiques chimiques et mécaniques différentes et d'un flux solide.

Influence du carbone : Le carbone est toujours l'élément le plus important qui caractérise l'aptitude au soudage des aciers . Il permet d'accroître la résistance à la rupture et la dureté , sa teneur doit être limitée, elle ne doit pas dépasser 0,25 % en général ; car il favorise lors du cycle thermique la présence d'une structure martensitique dans le métal de base de la zone affectée par la chaleur . En effet si la teneur en carbone augmente. La sensibilité à la fissuration en sous-couche augmente. Au delà de 0,8 % de carbone, le soudage des aciers est à proscrire. Le soudage des pièces à forte épaisseur ou dont la teneur en carbone est élevée sera effectuée avec pré-chauffage ce qui permettra de réduire sensiblement la dureté sous cordon et d'écartier le risque de fissuration. Ainsi le carbone joue un rôle important dans le comportement des aciers aux basses températures.

LE MANGANESE ( Mn, M ) : est l'élément gamagène qui favorise la trempe de l'acier ; Il augmente de manière sensible les caractéristiques mécaniques de l'acier ; C'est pourquoi sa présence en teneur comprise entre 0,9 et 1,5 % dans ces aciers améliore nettement la soudabilité. A fort pourcentage (13 % ) l'acier devient très résistant aux chocs et à l'usure ; On a souvent recours à agir sur la teneur en manganèse plutôt que sur le carbone afin d'obtenir une limite d'élasticité élevée et un effet moins trempant donc une bonne soudabilité. De plus il est un désoxydant énergique. Il a une action nécessaire pour l'élimination du soufre. La teneur est limitée à 1,5 % pour qu'on puisse employer l'acier sans précaution particulier.

LE SILICIUM (Si, S) est un élément alphasagène, réducteur puissant de l'acier comme le manganèse ; Sa teneur doit être limitée en général à 0,5 % car il augmente la sensibilité à la fissuration lors de la soudure. Mais néanmoins, il reste un élément intéressant jusqu'à une teneur de 1,1 % car il améliore la ductilité des aciers sans trop affecté leur soudabilité.

LE NICKEL (Ni, N) : à faible teneur améliore les propriétés de capacité de déformation des soudures, affine le grain et agit favorablement sur la température de rupture fragile à froid. En effet, un taux de 1 % de Nickel repousse de 60 à 80 °c le seuil de rupture à froid. Il améliore la plasticité et la ductilité. Mais si sa teneur augmente (3à5%) le Nickel peut affecter la fragilité de l'assemblage.

LE CHROME (Cr, C), Le MOLYBDENE (Mo, D), LE VANADIUM (V) sont des éléments qui augmentent la trempabilité de l'acier, leurs teneurs doivent être limitées, , sinon, ils provoqueront des effets néfastes sur la soudabilité. Ainsi, la teneur en Cr est inférieure à 0,5 % la teneur en Mo est inférieure à 0,35, la teneur en V est inférieure à 0,2 % ; Leur présence n'est que pour améliorer les propriétés mécaniques de l'acier. Pour les aciers chargés en carbone, le Molybdène même à faible concentration confrère aux aciers une résistance plus grandes à chaud et à cet égard, il présente un très grand intérêt comme, élément d'addition dans les aciers faiblement alliés. Le chrome augmente la résistance à la rupture des aciers faiblement alliés. Le vanadium permet avec d'autre éléments, un accroissement des caractéristiques de traction.

LE CUIVRE (Cu, U) : Confrère aux aciers une plus grande résistance à la corrosion . Il est recommandé de ne pas dépasser 0,4 % de Cu, dans les aciers destinés aux assemblages soudés pour ne pas altérer leurs soudabilité.

ALUMINIUM (AL, A). Il a une action bénéfique sur les dimensions des grains (affinage) comme Titane (Ti), et la NIOBIUM (Nb). Il permet également la désoxydation des aciers.

### III-22 INFLUENCE DES IMPURETES

Le soufre (S,F) et le phosphore existent dans les aciers en quantités très faibles et peuvent être à l'origine des défauts rencontrés dans la soudure. La présence du soufre donne, avec le fer eutectique vers 985° C la sulfure de fer qui se développe aux joints des grains sous forme d'un film, augmentent aussi la sensibilité à la fissuration du métal.

LE PHOSPHORE (P) : peut contribuer à haute température à la fissuration en sous couche. Il agit en augmentant la fragilité par formation de phosphore de fer Fe P. Ce dernier favorisent en plus l'augmentation du <sup>3</sup>grosseur des grains du métal ; la teneur en phosphore est limité à 0,05 % pour les aciers de construction soudée et de 0,035 % pour les aciers de qualité.

En récapitulation, on peut mettre sous forme de tableau l'influence de toutes les éléments d'addition sur les propriétés des aciers voir tableau sur la page (25).

Éléments	Caractéristique au métal					Transformation de forme						
	Contrainte de rupture	Limite d'élasticité	Allongement se	Dureté HB	Résistance à la traction K	Resistance à la corrosion	Soudabilité	Resistance à la fatigue	Resistance à la corrosion			
Carbone C	+	+	:	+	=	+	+	-	+	-	0	
Manganese (Mn M)	+	:	+	:	-	+	:	-	0	0	+	
Silicium (Si S)	+	:	+	:	-	+	:	=	0	-	-	
Nickel (Ni, N)	+	:	+	:	0	+	:	+	0	+	+	
Chrome (Cr, C)	+	:	+	:	0	+	:	+	0	-	+	
Cuivre (Cu, U)	0	:	0	:	0	0	:	0	0	0	+	+
Niobium (Nb)	+	+	:	+	+	-	:	+	0	+	+	0
Vandium V	+	:	+	:	-	+	:	0	++	+	+	+
Molybdène (Mo, D)	+	:	+	:	-	+	:	0	++	+	+	+
Bore (B)	++	:	++	:	-	+	:	-	+	+	0	
Titane (Ti)	+	:	+	:	0	+	:	+	0	+	0	
Cobalt (Co)	+	:	0	:	0	0	:	+	0	0	0	
Tungstène	+	:	0	:	+	+	:	+	0	0	0	
Aluminium (Al, A)	0	:	0	:	0	0	:	-	0	0	0	
Soufre S, F	-	:	-	:	0	-	:	-	-	=	0	
Phosphore (P)	+	:	+	:	=	+	:	=	0	-	-	
Azote (N)	+	:	+	:	=	++	:	=	-	-	0	
Oxygène (O)	=	:	=	:	=	+	:	=	=	=	-	

A brèveation des symbole :

- +
- ++ : Augmentation des propriétés
- ++ : Forte augmentation " "
- : Diminution " "
- = : Forte diminution des " "
- 0 : Neutre.

### III - 3 SOUDABILITE DU METAL DE BASE

#### III -3-I DEFINITION :

La soudabilité, est l'aptitude d'un métal ou d'un alliage à être assemblé par un procédé de soudage, qui assure effectivement la continuité métallique du matériaux. L'institut international de soudure (I.I.S) proposé une définition d'ensemble :

On considère qu'un matériau métallique est soudable, à un degré donné par un procédé, et pour un type d'application donnés, lorsqu'il se prête, moyennant les précautions correspondant à ce degré, à la réalisation d'une construction entre les éléments de laquelle il est possible d'assurer la continuité métallique pour la constitution de joints soudés qui, par leurs caractéristiques locales et les conséquences globales de leur présence, satisfaisant aux propriétés requises et choisies comme base de jugement. Cette propriété complexe des métaux et alliages ; et qui elle même dépend des propriétés physiques et chimique du métal ; Peut être envisager sous 3 aspects principaux :

#### III -3-2 SOUDABILITE OPERATOIRE

Elle précise les conditions dans lesquelles l'assemblage sera réalisé ; C'est-à-dire définir le comportement du métal à la fusion et la possibilité d'assurer la continuité de la matière entre les pièces à assembler avec ou sans artifices opératoire. Exemple choix du procédé de soudage, type de joint, séquence de soudage.

### III - 3-3 SOUDABILITE METALLURGIQUE OU LOCALE ;

Elle rend compte de la possibilité d'obtention, d'un assemblage aussi homogène que possible, en conservant les propriétés mécaniques et chimiques du métal de base. Elle revient à prendre en compte les modifications du métal de base à la suite du cycle thermique de soudage, la composition chimique et les caractéristiques mécaniques de la zone fondue.

### III - 3-4 SOUDABILITE CONSTRUCTIVE : OU GLOBALE

Elle est liée à la conception mécanique de l'ensemble soudé. Des propriétés complexes sont mises en jeu ; Elle apparaît : 1° au cours du soudage ou au moment de l'utilisation de l'ensemble. Un certain nombre de facteurs sont déterminants : le choix du matériaux, ses caractéristiques mécaniques et chimiques, en particulier sa limite d'élasticité, les possibilité de déformation de l'ensemble soudé, son degré d'encastrement, la forme élémentaire du joint et la répartition des masses et le nombre de joints soudés.

La soudabilité constructive ne peut être isolée ; Elle forme un tout avec les soudabilités opératoires et métallurgique. L'aptitude générale au soudage d'un matériau ne peut être garantie pour n'importe quelles conditions opératoires. Pour chaque cas nouveau une étude d'ensemble est nécessaire concernant :

I- La conception de l'ensemble soudé, en fonction de sa destination et la réglementation en vigueur ;

- 2- Choix du métal de base ;
- 3- Détermination des conditions de soudage : Le procédé le mieux adapté, choix de métal d'apport etc...  
En général la soudabilité des métaux dépend :

- I- Composition chimique du métal de base.
- 2- Du procédé de soudage.
- 3- Métal d'apport.
- 4- De l'épaisseur de la tôle à soudée.
- 5- Des conditions constructives et techniques.

### III - 3-5 SOUDABILITE DES ACIERS

- I- La soudabilité des aciers non alliés dépend de la teneur en carbone si la teneur en carbone  $C < 0,23\%$ . Les aciers sont parfaitement soudable  $0,23 < C < 0,3\%$  sont assez bien soudable. Pour une teneur de  $C > 0,3\%$  il y aura l'aototrepabilité dans la zone de surchauffage ; Si  $C > 0,35\%$ , ces aciers ont tendance à la fussion ce qui nécessite un traitement thermique à la fin du soudage.
- 2- La soudabilité des aciers alliés présente plusieurs problèmes. Pour les aciers faiblement alliés de la classe perlitique et dont la teneur global de l'alliage ne dépasse 3 à 4 % sont bien soudable. Les aciers fortement alliés sont soudable avec ses précautions nécessaires suivant le pourcentage de l'alliage.

III -4 NOTIONS SUR LE CARBONE EQUIVALENT (C.E)

D'après la composition chimique du matériau de base, on peut préjuger sa soudabilité globale, grâce à des formules dites teneur en carbone équivalent. Le carbone étant choisi comme éléments de base. Il est affecté à chaque élément d'addition (Cr, Mn, Mo, Ni V) un coefficient de pénétration. La formule ci-dessus est donnée par le cahier de charge S.N.C.F.

$$C.E = \% C = \frac{\% Mn}{6} + \frac{\% Ni}{15} + \frac{\% Mo}{4} + \frac{\% Cr}{5} + \frac{\% Cu}{13}$$

Elle n'est valable que pour des pourcentage d'éléments d'additions inférieurs aux valeurs ci-dessous.

% C = 0,5 %	;	% Mn = 1,6 %
% Ni = 3,5 %	;	% Mo = 0,6 %
% Cr = 1 %	;	% Cu = 1 %

Il existe d'autres formules qui diffèrent légèrement de cette formule exemple pour la commission :

I.I.S (Institut International de Soudure)

$$C.E = \% C + Mn + \frac{\% Cr}{6} + \frac{Vo}{5} + \frac{\% Mo}{5} + \frac{Cu}{15} + \frac{\% Ni}{15}$$

Connaissant le C.E de l'acier il est facile de rejeter ou d'accepter l'acier de base.

- soit de prendre toutes les précautions technologiques permettant de réaliser une opération de soudage rationnelle (préchauffage, diamètre de l'électrode, plan de soudage). Les valeurs de C.E suivantes, déterminent la soudabilité métallique.

C.E < 0,4      acier parfaitement soudable à froid, si le pourcentage de carbone est inférieur à 0,23 %.

0,45 < C.E < 0,7      acier moyennement soudable, à condition de préchauffer de 100 ° à 400° C

C.E > 0,7      Les aciers deviennent difficilement soudables, donc mauvaise sécurité dans la réalisation. Pour déterminer le degré de soudabilité de l'acier de base, il est nécessaire de calculer son (C.E).

L'épaisseur des pièces à aussi une influence sur la soudabilité, d'ou en à adopté une formule de carbone équivalent compensé (C.E.C)

III -5 CARBONE EQUIVALENT COMPENSE (C.E.C)

$$C.E.C = C.E + 0,0254 e$$

e = épaisseur de la pièce à souder en (Cm).

Toute pièce en acier présentant un C.E.C > 0,5 est douteuse en soudage donc l'épaisseur limite pour laquelle l'acier reste toujours soudable, sachant que C.E.C < 0,5 l'acier est parfaitement soudable.

$$C.E.C = C.E + 0,0254 e$$

$$0,5 = C.E + 0,0254 e_L$$

$$L \quad e_L = \frac{0,5 - C.E}{0,0254}$$

eL = Epaisseur limité (Cm).

III - 6 DETERMINATION DE LA TEMPERATURE DE PRECHAUFFAGE.

a+ La température de préchauffage  $T_p$  est donnée par la formule suivantes :  $T_p = 350 \sqrt{(C) - 0,25}$

ou  $(C) = C.E.C + C.E = C.E ( I + 0,005e )$  (4)

$e$  = épaisseur de la tôle en ( mm )

Cette formule résulte des recherches faites sur des aciers faiblement alliés.

b- Méthode graphique :

Il y a une méthode plus pratique qui se représente dans un ensemble de graphes donnant la température de préchauffage en fonction de l'épaisseur pour un C.E donné de l'acier de base, donc le degré de soudabilité de l'acier.

Si nous connaissons l'épaisseur de la pièce on peut lire directement sur le graphe qui correspond à son carbone équivalent la température de chauffage ( voir fig III - I ( 4 )

- 2). Constituant lamellaire, l'austénité interlamellaire se transformant ultérieurement en carbonés ou en martensité (M + A).
- 3). Ferrite aciculaire : Les grains austénitiques primaire sont allongés préférentiellement dans le sens du refroidissement. Pour rendre compte de microstructure de la zone fondue d'une soudure, des études récentes retiennent d'autres constituants bainite granulaire constituant M + A, constituant sub *perlitique*, qui permettent de mieux distinguer l'apparence micrographique et de mieux cerner les phénomènes métallurgiques.

IV. -I-I MODIFICATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LA ZONE FONDUE.

Le métal de base de la zone fondue se mélange avec le métal d'apport en vertu du phénomène de dilution % =

$$d_0 \% = \frac{\text{Masse du métal de base fondu}}{\text{Masse de toute la zone fondue}} \times 100.$$

Il permet d'apprécier la composition chimique de la zone fondue.

IV. I-2 STRUCTURES BRUTE DE SOLIDIFICATION.

La solidification débute par la formation de grain à partir du grain austénitique de la surface de séparation. L'orientation des dendrites suit la direction du refroidissement, la cristallisation est orientée dans le sens de déplacement de la source de chaleur.

#### IV. NOTION SUR LES PHENOMENES THERMIQUES ET METALLURGIQUES DU SOUDAGE.

##### IV.-I-a Notion de métallurgie de soudage :

Au cours du soudage, une grande quantité de chaleur est apportée localement à la pièce soudée. Cet apport calorifique engendre une phase de chauffage très rapide jusqu'à une température comprise entre la température initiale du métal et sa température de fusion, à laquelle succède une phase de refroidissement dont la cinétique dépend essentiellement des conditions de soudage, on peut considérer 2 zones distinctes dans le joint soudé : la zone fondue et la zone affectée par la chaleur (Z.A.C).

##### IV.I-b Zone fondue :

Les constituants structuraux des soudures n'ont pas toujours une morphologie comparable aux divers produits de décomposition de l'austénite, que l'on rencontre dans les aciers de traitements thermique. L'institut international de soudure (document II A 389-76) retient trois types de constituants :

- I). Ferrite au joints de grain (le réseau de ferrite protectrice matérialisé les joints des grains austénitiques.

4- Solidification, formation des dendrites (maille ~~δ~~), retrait, contraintes,  $Ar_3$ .

5- Transformation allotropique (M ou M+F+C ou F+C) diffusion de l'hydrogène contraintes locales,  $Ar_I$ .

6- Fin de transformation, contraction, contraintes résiduelles ; dans certains cas :

Fissuration à froid, diffusion de l'hydrogène jusqu'à la température ambiante. Les transformations d'un acier de base donné vont dépendre de ces deux facteurs ( $T_{mI}$   $V_m$ ) d'où les différentes régions de la zone affectée par la chaleur la fig. IV.2 reproduit les microstructures obtenues au voisinage de la zone fondue.

I- Zone de surchauffe , elle se situe au contact de la zone fondue  $T > 1100^\circ C$ , ou se produit un grossissement de grain exagéré qui confère au métal une forte trempabilité ; d'où après refroidissement, des structures de trempe. C'est dans cette région que les risques de fissures à froid peuvent naître ainsi que les modifications de caractéristique mécaniques du métal (notamment une résistance à la rupture fragile) .

2- Zone de récuît , la température entre  $Ac_3$  et  $1100^\circ C$  environ : structure de normalisation et structure plus grossières ; dans cette zone le métal possède des propriétés mécanique plus élevées par rapport à celles du métal de base qui n'a pas subi l'action de l'échauffement.

- 3- Zone de Iere transformation entre  $Ac_1$  et  $Ac_3$  l'austénisation partielle du métal donne une structure à grain très fins (recristallisation incomplète de l'acier).
  
- 4- Entre  $600^\circ$  et  $Ac_1$  , quelque modification apparaissent si le métal de base à subi des déformation avant le soudage.
  
- 5- Région ou le métal de base n'a pas atteint une température de  $600^\circ$  C environ . Elle s'appelle zone de fragilité au bleu,

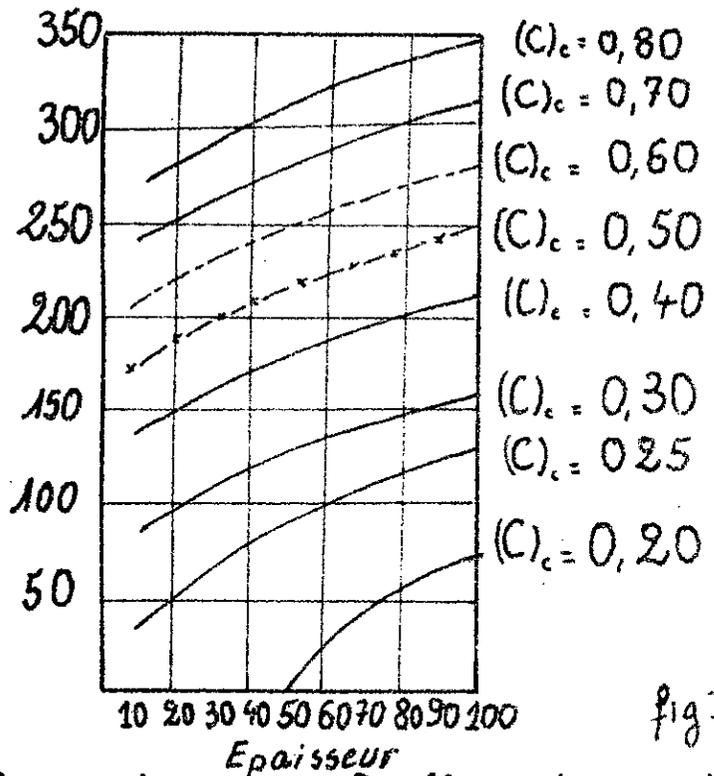


fig III - 1

Temperature de prechauffage des soudures deduite des calculs en fonction de l'equivalent chimique du carbone [C]<sub>c</sub> et de l'epaisseur des toles

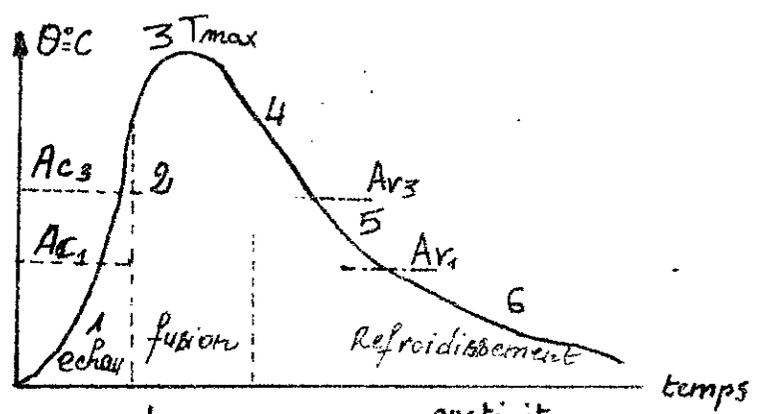
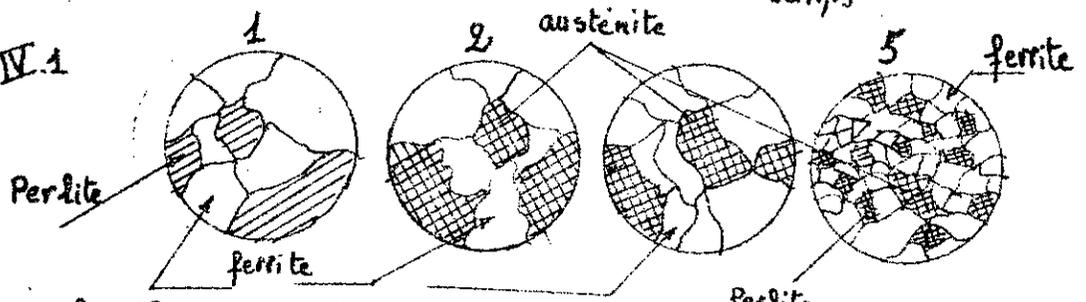
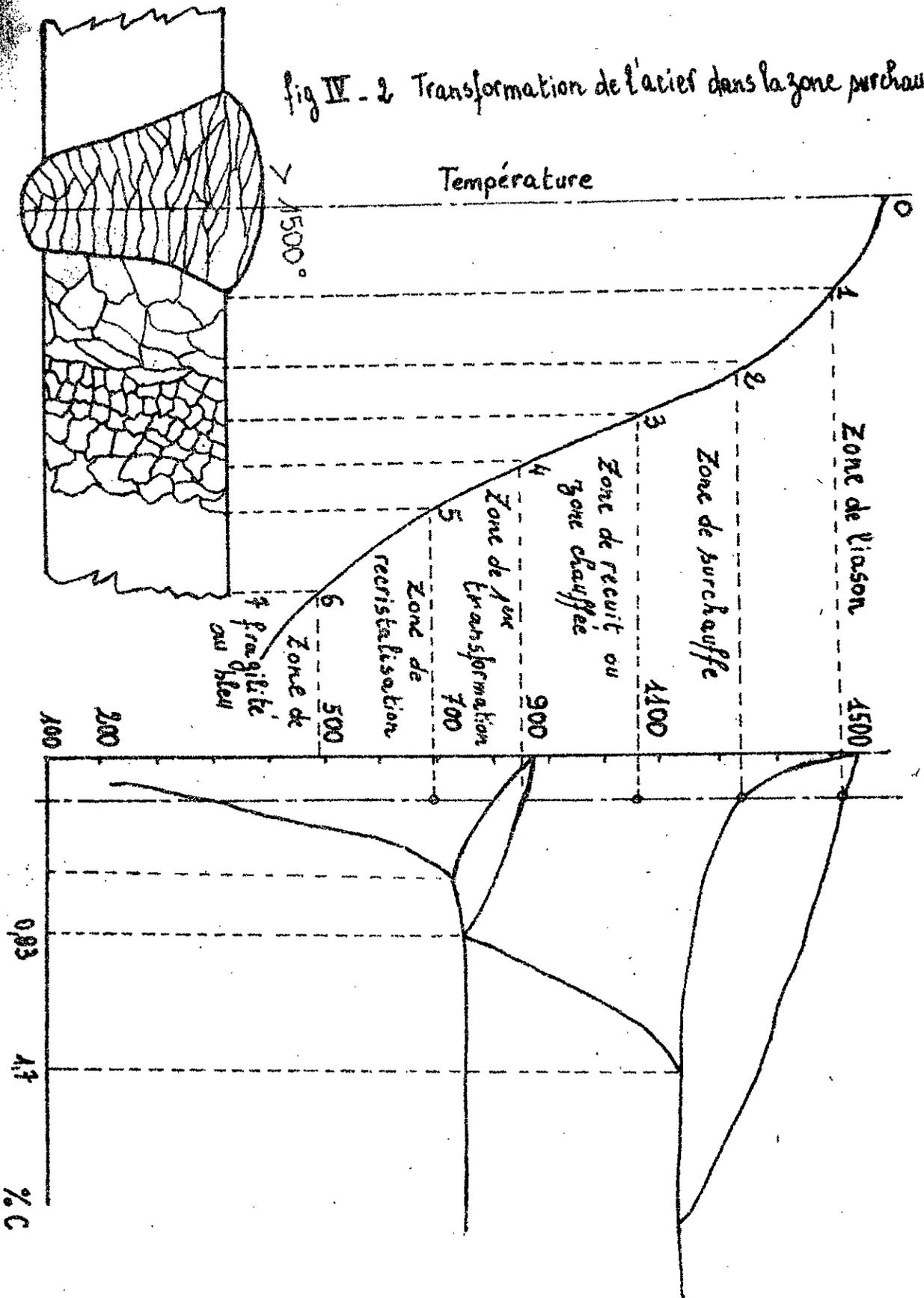


fig IV.1



cycle thermique de soudage et transformation structurales

fig IV - 2 Transformation de l'acier dans la zone proche



#### IV-5- DUREE DE REFROIDISSEMENT D'UN ASSEMBLAGE SOUDE :

L'état de la structure du métal avant le refroidissement dépend de la température maximale atteinte au cours du soudage et de la durée de séjour au dessus des différentes températures de transformation structurale. Cette transformation dépend de la loi de refroidissement.

On defini la vitesse moyenne  $V_m = \frac{\theta I - \theta 2}{T I - T 2}$

Ou  $\theta 2$  = température de debut de transformation

$\theta I$  = " " fin de transformation

$T I$  = temps écoulé jusqu'a la fin de transformation.

$T 2$  = " " " début de transformation.

La vitesse à température donnée =  $\left( \frac{D\theta}{dt} \right) e^{-\theta I}$

Le choix d'un paramètre de refroidissement , pourqu'il soit valide, doit, pour une structure métallurgique donnée, être indépendant de tout autre paramètre.

Deux paramètres sont le plus souvent utilisés pour les aciers :

- Le temps écoulé entre 800 et 500° C :  $Dt \frac{800}{500}$  (Institut de soudure et I.R.S.I.D).

- Le temps écoulé entre 700 et 300°C :  $DT \frac{700}{300}$  (I.R.S.I.D)

Les paramètres sont représentatifs des conditions de refroidissement dans le domaine de transformation de l'austenite ; ils permettent d'apprécier l'état de la structure de la zone fondue, et plus particulièrement de la Z.A.C qui peut être le siège de fissures ou de microfissures.

La proportion des différents constituants structureaux évolue considérablement en fonction du cycle thermique et surtout de la vitesse de refroidissement.

#### IV. 5- DIAGRAMMES DE TRANSFORMATION AU REFROIDISSEMENT CONTINU SOUS L'EFFET DES CYCLES THERMIQUES DE SOUDAGES :

Généralement par un refroidissement continu plus ou moins rapide, on amène les pièces soudées à la température ambiante. Ces diagrammes permettent, pour un acier donné, de relier la microstructure formée, élément essentiel de la métallurgie, au cycle thermique subi par la zone affectée par la chaleur et plus particulièrement la durée de refroidissement ( $Dt$  <sup>800</sup>/<sub>500</sub>). Les diagrammes T.R.C.S nous permettent de déterminer la vitesse critique de refroidissement c'est à dire la vitesse à laquelle la structure formée est purement Martensitique, puis, à mesure que le refroidissement est plus lent, à des structures mixtes (Martensite + bainite), de cas échéant bainitiques, et en fin à des structure de type (figIV. 3).

Les éléments d'addition (Cr, W, V, Mo, ..) déplacent les courbes (T.R.C.S) à droite et les divisent en deux courbes c'est à dire que la vitesse de refroidissement critique sera diminuée d'autant plus, que le pourcentage des éléments d'addition est augmenté, jusqu'à d'une vitesse critique égale à la vitesse de refroidissement à l'air (Fig. IV 3).

La vitesse de refroidissement, influe directe sur la dureté des aciers. Les courbes dureté-paramètres de refroidissement possèdent un certain nombre de traits particulier: un plateau supérieur ou la dureté varie peu (structure essentiellement martensitique), une zone à forte pente, qui correspond à la

traversée du domaine mixte (M + F + C), et un dernier tronçon de faible pente asymptotiquement vers des duretés proches de celle du métal de base la fig. IV-6 superpose plusieurs courbes de dureté, mettant en évidence la variation de celle-ci en fonction de la nature de matériau en prenant comme exemple E24 E36, I8CU2 et IO CD I9 l'examen de ces différentes courbe et diagrammes permet de déterminer la durée de refroidissement nécessaire pour obtenir une structure favorable au joint soudé.

IV. ° 7 - PHENOMENES DE FISSURATION DANS LES ASSEMBLAGE SOUDES.

IV. -7-I FISSURATION A CHAUD.

Elles se forment sous l'effet du retrait, lors du refroidissement de la soudure quand la ductilité à chaud du métal fondu est insuffisante. Elles sont dues à l'association de plusieurs facteurs.

I - Facteurs métallurgiques.

s'égrégations, propriétés à chaud du bain de fusion (métal de base + métal d'apport), qui dépendent de la composition chimique de la zone fondue. Le soufre et le phosphore affaiblissent la résistance mécanique des zones segregées. Pour éviter cet affaiblissement il ne faut pas dépasser  
 $S < 0,04 \%$  ;  $Mn / s > 20..$   $P < 0,04 \%$

2- Facteurs géométrique et tensothermique :

Ce sont la limite d'élasticité du métal d'apport, le degré de vidage du joint soudé, les contraintes dues à une structure de trempe dans la Z.A.C.

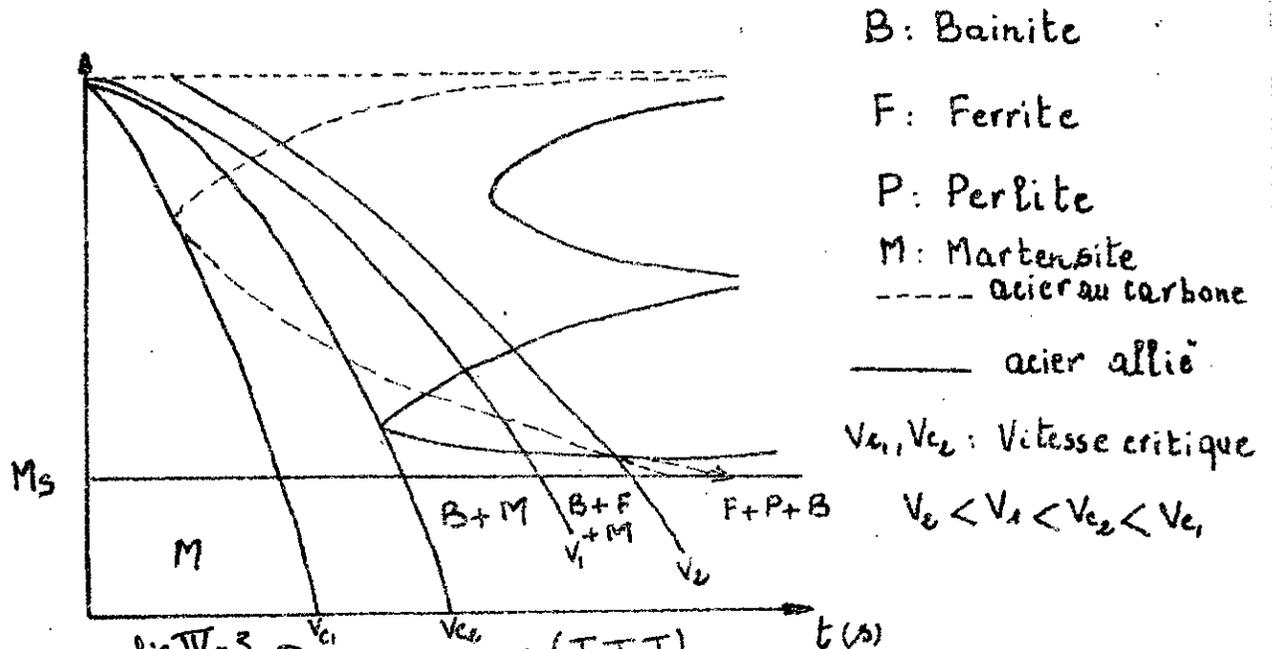


fig IV-3 Diagramme (T,T,T)  
 La courbe ci dessus permet de déterminer la vitesse de refroidissement de la soudure en fonction du pourcentage des éléments d'addition

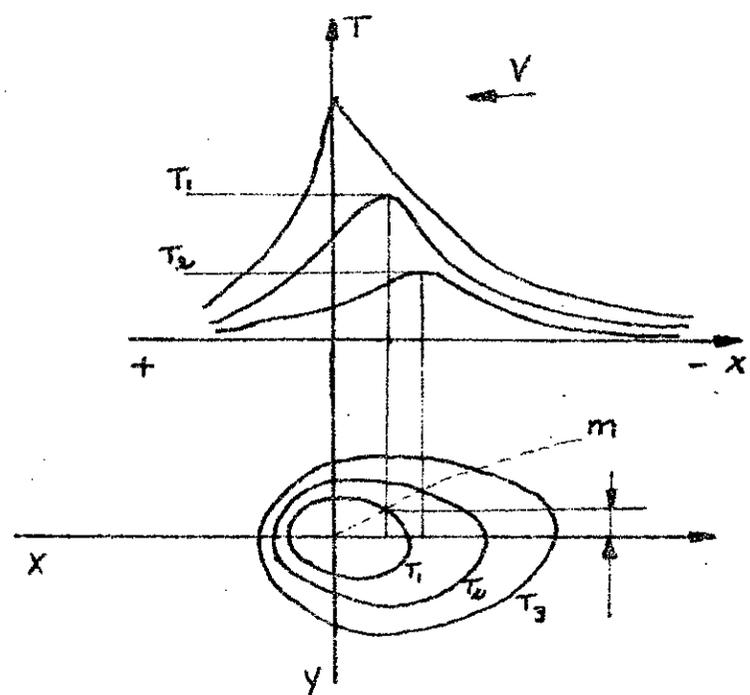
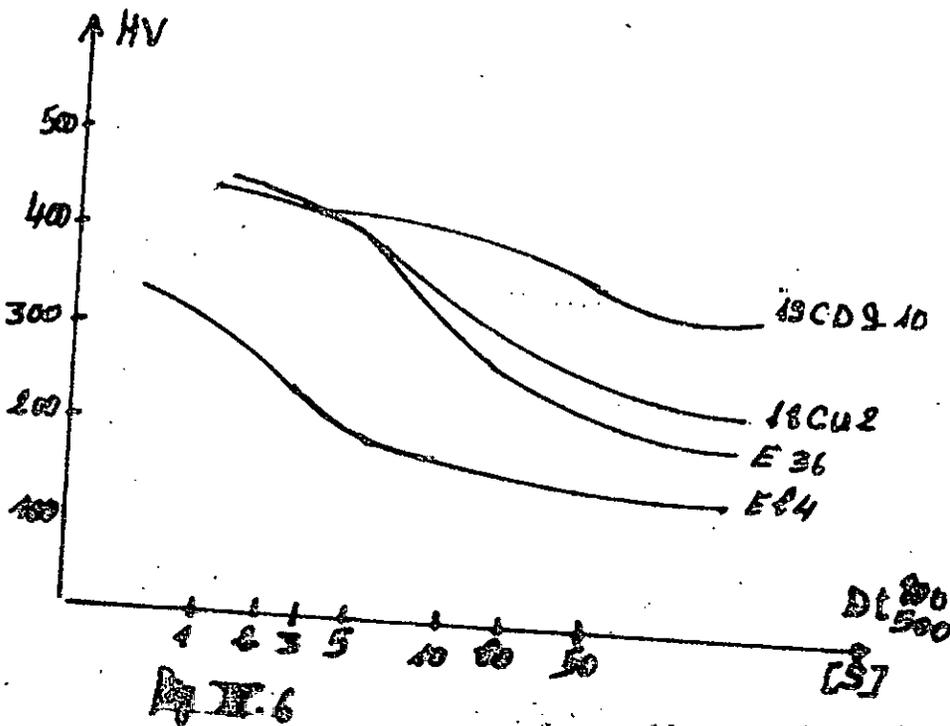
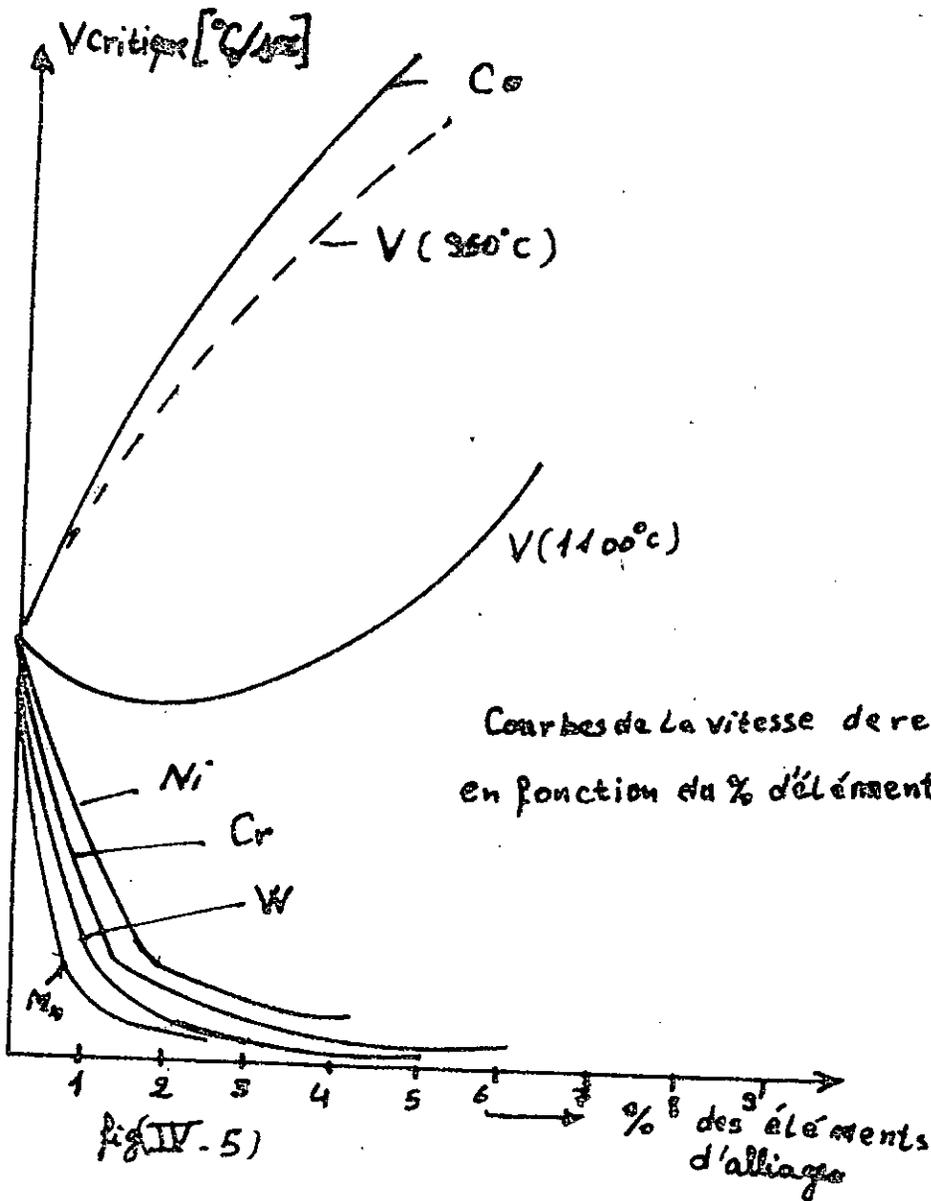


fig IV-4: Répartition thermique dans un assemblage bout à bout (0, m, Tmax)



Pour le soudage solide sous flux, la solidification grossière que l'on obtient risque de conduire à une fissuration de la zone fondue si le rapport largeur du bain/profondeur du bain n'a pas une valeur suffisante :

$$- \frac{l}{p} > 0,7 \quad , \quad \frac{I}{U} \text{ ne doit pas être très important}$$

#### IV.-7-2-FISSURATION A FROID

La fissuration à froid apparaît à basse température dans la Z.A.C parfois quelques heures après le soudage. Les fissures naissent surtout lors de la première de soudage. Elles sont dûe aux principales causes suivantes :

I- Structure fragile dans la Z.A.C : Les paramètres de refroidissement  $Dt \frac{800}{500}$  influent sur la structure de la Z.A.C. si la durée de refroidissement est faible ce qui donne une structure martensitique fragile . Si la vitesse de refroidissement est convenablement choisi de telle manière que la Z.A.C ne sera pas martensitique, on peut éviter la fissuration . Le chrome à haute teneur dans le métal d'apport, donne au matériau de la zone fondu affectée ou non par la dilution, une bonne résistance au microfissures.

2- Présence de l'hydrogène dans la Z.A.C et la zone fondue. Il peut être présent sous différentes formes. Au cours du refroidissement les transformations allotropiques s'effectuent dans la zone où la température a dépassé le point AC3.

On sait que l'hydrogène est très soluble dans l'austénité, alors pendant le refroidissement, la zone fondue est déjà transformée avant que la Z.A.C soit transformée de l'austénité à la perlite et la ferrite. Cette différence de structure provoque la migration de l'hydrogène atomique dans la Z.A.C qui est la cause des fissurations à froid.

- 3- Etat de contrainte : les contraintes de bridage, qui s'ajoutent aux contraintes due aux sollicitations de l'assemblage en service, facilitent la microfissure.

#### IV. - 8 STRUCTURE METALLURGIQUE OPTIMALE.

Les propriétés mécaniques de la zone soudée sont très fortement liées à la structure métallurgique obtenu après l'opération de soudage. L'obtention d'une structure métallurgique optimale dépend de la durée de refroidissement  $Dt$  ; pour un  $Dt$  trop faible, le risque de fissuration à froid augmente, tandis qu'un  $Dt$  exagérément élevé peut conduire à un risque de fissuration à chaud.

Dans les 2 cas, la température de transition s'accroît (augmentation du risque de rupture fragile). Les conditions de soudage sont idéales : la structures ne comportera pas de traces de martensité. Pour notre cas la zone de soudage optimal pour un acier E 24 est montrée sur la (fig.VI-7) ou un  $Dt$  compris entre 2 a 15 s .

800  
500

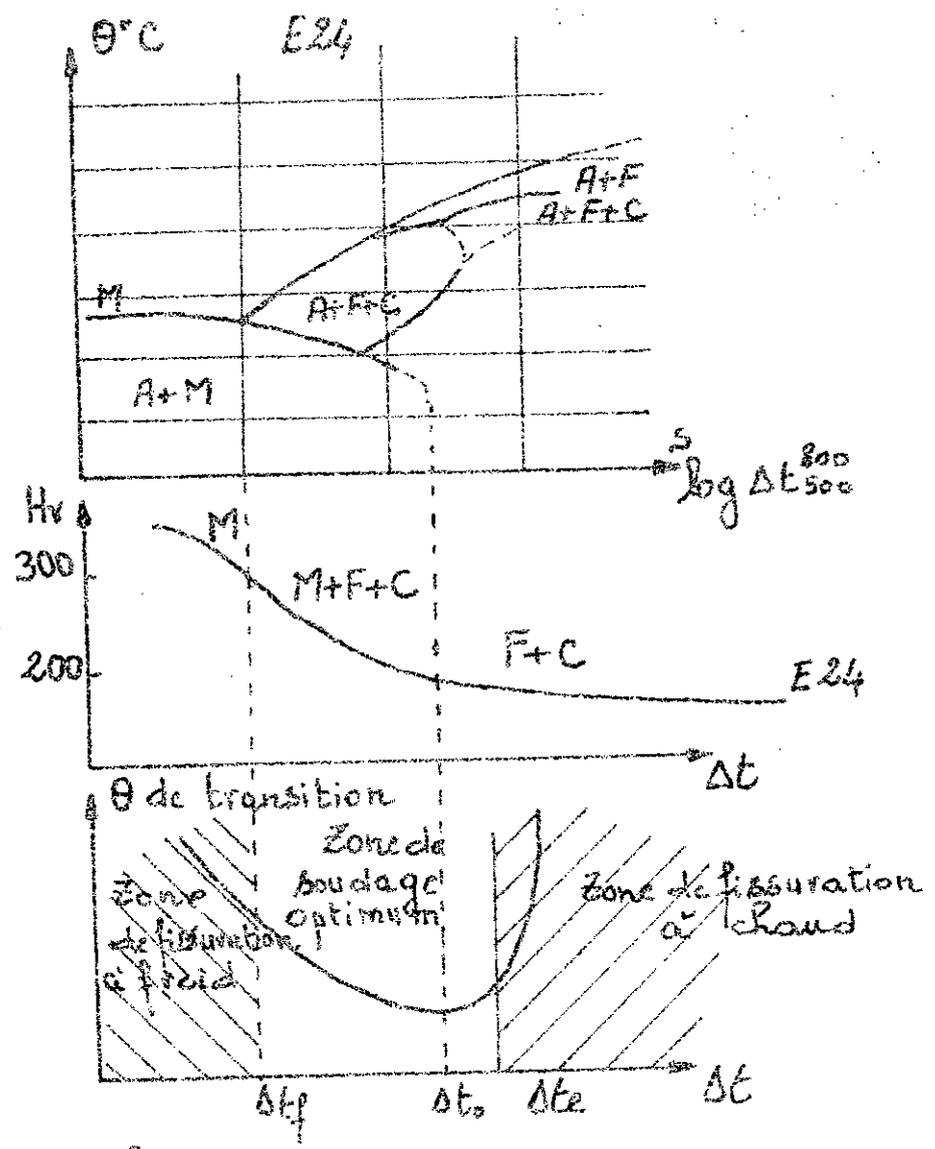


fig IV-7 Conditions optimales de soudage

#### IV. 9- APPLICATION DES PARAMETRES DE REFROIDISSEMENT AUX CONDITIONS DE SOUDAGE.

Les différents paramètres sont fonction de l'énergie de soudage mise en jeu et de la température initiale ( $\theta_0$ ) à laquelle se fait l'opération. Plusieurs cas peuvent se poser :

I) Les paramètres de refroidissement sont imposés. 2 variables sont possibles : l'énergie de soudage est pratiquement imposée par le procédé et par le procédé et par le mode opératoire (chanfrein) dans ce cas on a une seule variable ( $\theta_0$ ).

En conclusion, si on souhaite obtenir une structure de type F + C ou, une dureté maximale sous cordon ; liée à cette structure ; on lit sur le diagramme T.R.C.S. Dt 800. En jouant sur les différents paramètres (énergie de soudage,  $\theta_0$ ) on peut atteindre le Dt 500 imposé pour une structure donnée.

#### IV. 9-I- DETERMINATION DES DUREES DE REFROIDISSEMENT (Dt 800) 500

Pour déterminer les différents paramètres de soudage, on utilise 2 méthodes.

- 1- méthode utilisant le modèle mathématique.
- 2- " " les abaques.

#### I-I METHODE UTILISANT UN MODELE MATHEMATIQUE.

Les expressions des durées de refroidissement établies pour les assemblages types (bout à bout, en L, en T) sont données par les formules suivantes :

a- Paramètres pour les aciers de construction.

• Temps de passage entre 2 températures :  $Dt \begin{matrix} 800 \\ 500 \end{matrix}$   
 Coefficient de diffusivité thermique  $a = 0,054$  (pour les aciers).

Capacité calorifique  $Pc$   
 - En début de transformation ( $800^\circ C$ ) :  $(Pc)_d = 4,77 J$   
 ( $1,14 cal/cm^3/^\circ C$ )

- En fin de transformation ( $500^\circ C$ ) :  $(Pc)_f = 5,27 J$   
 ( $1,26 cal/cm^3/^\circ C$ )

Energie nominale  $E_n = \frac{U \cdot I}{V}$  ( $V$  : vitesse de soudage)

Energie dissipée :  $E_d = E_n \cdot \eta$ ,  $\eta$  = rendement de l'arc  
 ( $\approx 0,7$ ).

b- Expressions des durées de refroidissement

En fonction de l'épaisseur à souder, elles peuvent se mettre sous la forme suivante :

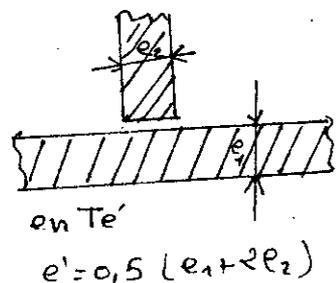
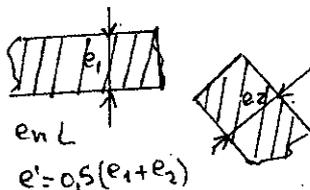
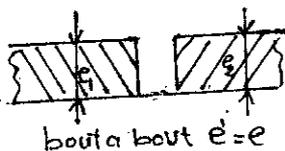
Toles épaisses ( $e > 25 mm$ )

$$Dt \begin{matrix} 800 \\ 500 \end{matrix} = E_d \cdot \frac{I}{2\pi a} \cdot \left[ \frac{I}{(Pc)_d \cdot X(500-\theta_0)} - \frac{I}{(Pc)_d \cdot X(800-\theta_0)} \right]$$

Toles minces ( $e \leq 20 mm$ )

$$Dt \begin{matrix} 800 \\ 500 \end{matrix} = \left( \frac{E_d}{e} \right)^2 \cdot \frac{I}{4\pi a} \cdot \left[ \left( \frac{I}{(Pc)_f \cdot X(500-\theta_0)} \right)^2 - \left( \frac{I}{(Pc)_d \cdot X(800-\theta_0)} \right)^2 \right]$$

où  $e'$  est l'épaisseur combinée.



Le choix des expressions tôles épaisses ( $e > 25$  mm) ou tôles minces ( $e \leq 25$  mm) peut se faire suivant que l'épaisseur combinée  $e'$  est plus grande ou plus petite que l'épaisseur critique  $e_c$ , donnée par l'expression suivante :

$$e_c = \frac{\sqrt[3]{12}}{\eta_3} I^{1/2} \sqrt{\eta_2 \frac{I}{2} \times \frac{Ed}{e'} \times \left[ \left( \frac{I}{(p_c)_f \times (500 - \theta_c)} + \frac{I}{(p_c)_d \times (800 - \theta_0)} \right) \right]}$$

Pour notre cas , épaisseur de la tôle  $e = 8$ mm assemblage bout à bout.

$e' = e = 8$  mm       $\eta_2 = 0,9$       et  $\eta_3 = 0,99$   
 $v = 47$  m/h ,       $U = 30$  v ,       $I = 500$  Ampère.

$$Dt \frac{800}{500} = \left( \frac{30 \times 500 \times 36}{47 \cdot 0,8} \right)^2 \frac{I}{4 \cdot 11 \cdot 0,54} \left[ \left( \frac{I}{5,27 (500-20)} \right)^2 - \left( \frac{I}{4,77 (800-20)} \right)^2 \right] = 25,5 \text{ s.}$$

Constatation :

Pour noter exemple, d'après le diagramme de la fig (VI.7) et avec  $Dt \frac{800}{500} = 25,5$  s ; la structure brute de soudage sera proche du métal de base (F + C ).

2- Méthode utilisant des abaques :

pour éviter les calculs, on peut utiliser l'abaque : (fig VII-8) qui permet, à partir des expressions des durées de refroidissements, de déterminer indifféremment :

- La durée de refroidissement (Dt 800 / 500 )
- L'énergie de soudage nécessaire en fonction de la géométrie du joint soudé.
- La température de préchauffage, si besoin est;

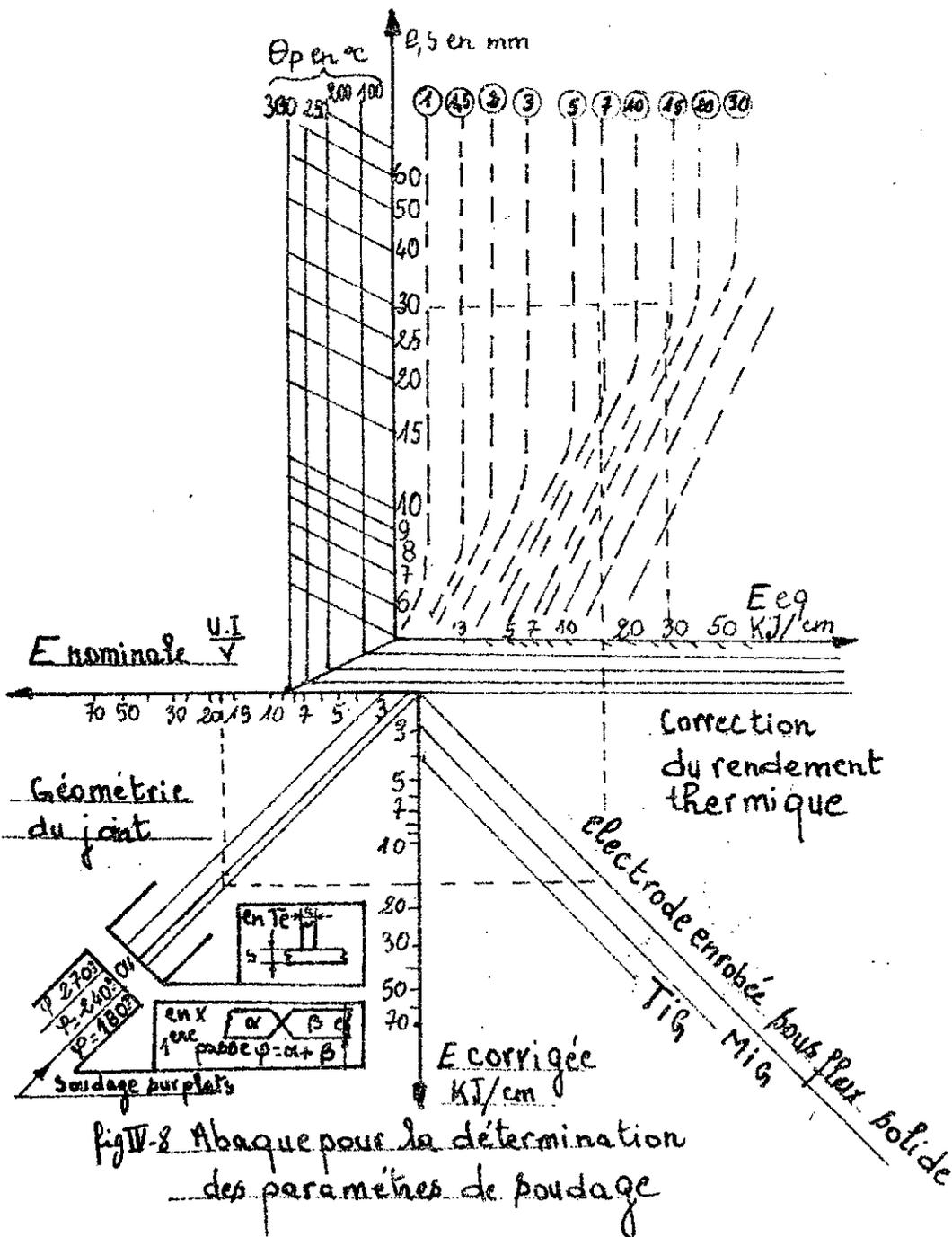


Fig IV-8 Abaque pour la détermination des paramètres de soudage

ETUDE EXPERIMENTALE DES PIECES SOUDEES.

Du point de vue didactique, il m'a paru intéressant, à l'aide de quelques expérimentation, d'apprécier la validité des expressions et par la même, la mise en évidence de certain phénomène métallurgiques. Pour cela on a préparé 3 pièces de l'acier doux avec les dimensions (25X15X8) et sur lesquelles on a exécuté des cordon de soudure en jouant sur les différents paramètres de soudage comme l'indique le tableau N° I.

Le choix des paramètres a été évalué suivant les formules empirique indiqués dans le chapitre (II) avec le diamètre du fil électrode 4 mm et  $e = 8$  à 10 mm.

Après le choix du régime de soudage (fixation) (Intensité du courant, tension, vitesse de soudage). pour les différents cas suivants :

I pièce n° I : on a exécuté 3 cordons de soudure avec la vitesse de soudage constante et pour des intensités différents pour chaque cordon.

N°	Cordon n° 1	Cordon n° 2	Cordon N° 3
V(m/h)	32	32	32
I <sub>s</sub> (A)	500	600	650
U <sub>s</sub> (V)	32	32	32
vf(yh)	74,5	74,5	74,5
H(mn)	6	8	9

## V- I EXAMEN MACROGRAPHIQUES DES PIÈCES SOUDÉES.

Elle a pour but de mettre en évidence la macrostructure de l'ensemble des soudures et rendu-compte de la répartition thermique ainsi que les hétérogénéités du métal. Pour cela, sur les pièces n° 3 et 4 on a exécuté un assemblage bout à bout ; l'une a 2 passe recto-verso et l'autre d'un seul coté ; avec le régime de soudage suivant  $I = 500 \text{ A}$  ;  $V_s = 50,5 \text{ m/h}$  ;  $U = 32 \text{ volt}$ .

Pour l'examen macrographique, nous avons effectué une coupe transversale sur les 2 pièces ; puis un polissage mécanique à l'aide du papier abrasif de 80 à 400 jusqu'à l'obtention une très belle état de surface. A l'aide d'une réactif chimique (Nital) , avec les proportion 10 % acide Nitrique et 90 % de l'eau pour une durée de 30 s on a obtenu les résultats montrer sur la fig V. A et B

Interprétation des différents zones sur la fig V - A et B

- 1- Zone I : c'est le métal de base la structure n'est pas changé.
- 2- Zone 4 : zone fondue formation de gros grains orientés qui résulte du mélange de métal de base et du métal d'apport.
- 3- Zone de liaison 3 : qui correspond à la frontière du métal fondu et du métal de base non fondu.
- 4- Zone affecté par la chaleur 2 : ou  $\text{O} \text{ Ac}_I$  le métal a subit dans cette zone des transformations structurelle.

Conclusion : avec ce test on peut observer les dimensions de la zone fondue , de la zone affecté par la chaleur ; le nombre , répartition et l'ordre d'exécution des passes, on peut aussi controlé la pénétration.

V.-2- EXAMENS MICROGRAPHIQUES DES PIECES SOUDEES D'APRES (N.F AoS I50).

Cette opération consiste à préparer les échantillons en vue de l'observation au microscope métallographique des détails structurels et de prendre des photos sur les différentes zones. Nous avons effectuée le polissage en 2 étapes :

1- Un polissage d'ébauche sur papier abrasif (80 à 600) à l'eau .

2- Le polissage de finition à l'aide des pâtes diamètres jusqu'à l'obtention d'un état de surface comme miroir. Nous avons attaqué ces échantillons par un réactif chimique (Nital à 5 % d'acide Nitrique + 98 % d'alcool ethylique) ; le temps d'attaque une minute, suivie d'un lavage et séchage , la microstructure des différentes zones et prendre des photos pour chaque zone voir les photos sur la page suivante.

Conclusion : D'après l'observation des différents photos on remarque que sur la zone fondue on a une structure dendritique, sur la zone de surchauffe structure a gros, . Après les dimensions des grains diminue jusqu'à qu'elle devient une structuré fine c'est le métal de base . Ce qui nous montre l'influence de la chaleur sur le métal de structures de base.

VI- 3- ESSAI D MECANIKES :

Les essais de traction, dureté et résidence ; sont parmi les essais mécaniques que l'on peut réaliser, ceux qui révèlent le plus facilement et le plus rapidement les caractéristiques mécaniques du métal.

V-3-I ESSAIS DE TRACTION .

Nous avons effectué 3 séries d'essais sur différentes éprouvettes comme suit :

- 1) Epreuve du métal de base sans soudage.
- 2) Epreuve après soudage avec  $\theta_0 = 20^\circ = C$
- 3) " " " pour  $\theta_0 = 20^\circ C$  et sur laquelle nous avons effectuée un recuit de normalisation 0 recuit =  $850^\circ C$  .

Résultats obtenus :

- 1) Rupture par glissement après striction fig (V-A).
- 2) Rupture brutale par décohesion dans la zone soudé fig (V-B).
- 3) Rupture par glissement, après striction, en dehors de la zone soudée fig (V.-C)

Le tableau ci-dessous donne les contraintes de rupture  $R_m$  et les allongements  $A\%$  obtenus pour les 3 éprouvettes.

Epreuve N°1 :		Epreuve n° 2 :		Epreuve n°3 :	
$R_m (N/mm^2)$	$A\%$	$R_m (N/mm^2)$	$A\%$	$R_m (N/mm^2)$	$A\%$
360	18 %	294	7%	377	17%

Conclusion : d'après ces résultats, nous remarquons que le régime de soudage influe sur les propriétés mécaniques ; tel que la limite à la rupture et l'allongement pourcent diminuent sensiblement . Le traitement thermique après le soudage améliore ces propriétés ; dans notre cas, le recuit de normalisation a homogénéisé la structure , ce qui permet a l'assemblage de reprendre ces caractéristiques normalisées ( Epreuve N° 3).

V-3-2 ESSAI DE RESILIENCE.

L'essai consiste à rompre d'un seul coup dans des conditions bien définies une éprouvettes préalablement entaillé en son milieu et à mesurer l'énergie absorbée.

La résilience noté K étant le quotient du travail absorbé en da J par la section en (cm<sup>2</sup>).

$$K = \frac{\text{travail absorbé en (da J)}}{S_0 \text{ (cm}^2\text{)}}.$$

Il existe plusieurs types d'éprouvettes, les plus utilisées sont les éprouvettes U.F (Unifiée Française).

Les dimensions des éprouvettes utilisées sont 55 X 8X6 avec un entaille de 3 mm. L'essai à donné les résultats suivants.

Eprouvette de	Angle de remonte	travail de rupture (da H	la résilience K
Métal de base	108°	9,527	19,84daJ
Métal soudé	110°	9,002	18,75daJ
			cm2

On remarque que le soudage influe sur la résilience, ce qui traduit par la sensibilité de la soudure à l'entaille.

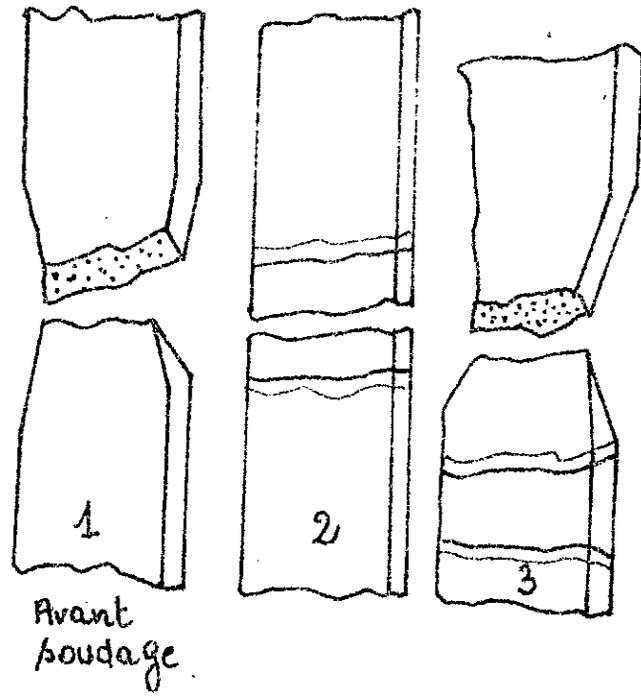


fig II-2 Essai de résistance à la rupture

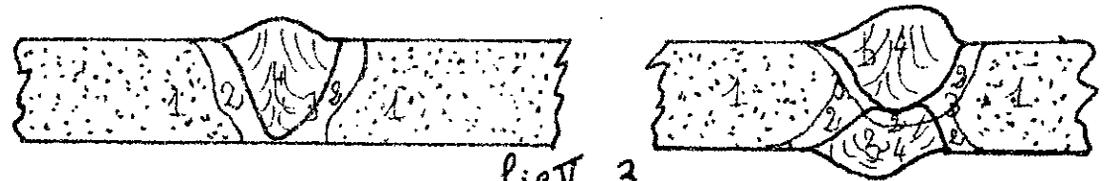


fig II-3 Examen macrographique

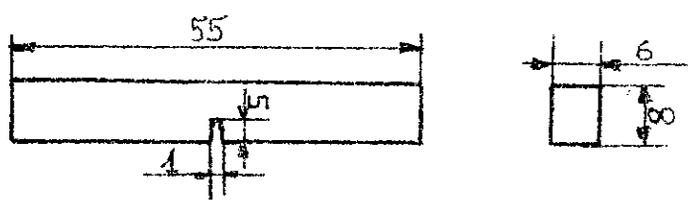


fig II-4 Epruvette normalisée pour l'essai de résistance

## V-4 ESSAI DE DURETE :

## V-4-I ESSAI VICKERS (N.F A 81 460 )

L'essai consiste à enprimer dans le métal , sous une charge P, un penetrateur en forme de pyramide droite à base carrée, d'angle au sommet 136°, et à mesurer la diagonale d de l'empreinte laissé sur la surface après l'enlèvement de la charge.

La dureté Vickers note Hv =charge d'essais =

$$\frac{2P \text{ sur } \frac{136}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{p}{d^2}$$

sur un échantillon, nous avons effectué des essais de Vickers afin de voir la variation de la dureté le long de zones soudées. L'échantillon a été poli selon les techniques classiques. Il est ensuite légèrement attaqué pour faire ressortir les différentes zones de soudures et avec un pas de un demi millimètre d'un essai à l'autre.

Les mesures ont été effectuées sur l'axe médiane de l'échantillon à partir du milieu du cordon.

Les résultats obtenus sont donnés sur le tableau suivant.

Abcisse:	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
+ (mm)												
HV	159	160	169	168	160	154	150	145	138	146	140	135

6	6,5	7
133	135	137

7,5	:	8	:	8,5	:	9	:	9,5	:	10	:	10,5	:	11
I32	:	I33	:	I33	:	I3	:	I3I	:	I2	:	I29	:	I28
pour le métal de base Hv										I30				

Conclusion : après avoir tracé la courbe  $Hv = f(x)$  ou  $x$  représente la distance d'un point par rapport au milieu du cordon voir fig V- on remarque que la dureté dans la zone affecté par la chaleur est très élevé ce qui vérifie les transformations qui se sont produites sous l'effet du cycle thermique de soudage.

Influence de la vitesse de soudage sur les zones soudées : sur des échantillons soudés à différentes vitesses comme l'indique le tableau suivant . Nous avons réalisé des essais de dureté Vickers les zones soudées. La courbe  $Hv = f(Vs)$  est presque une droite (voir fig V-).

V(m/h)	:	I6	:	I8	:	21,5	:	25
HV	:	I85	:	I90	:	192	:	198

Conclusion : d'après la courbe  $Hv = f(Vs)$  on remarque que la dureté Vickers dans la zone de soudage augmente avec l'augmentation de la vitesse de soudage.

Le phénomène s'explique par le fait que si la vitesse de soudage augmente, la vitesse de refroidissement augmente aussi ce qui conduit à l'augmentation de surfusion pendant les transformations de phases ; on obtient la structure avec les dimensions des grains ferritique et perlitique aussi petite . Dans ce cas la, la quantité des défauts de la surface (surface des joints de grains) augmente et déplacement libre des dislocations diminue voila pourquoi la dureté augmente.

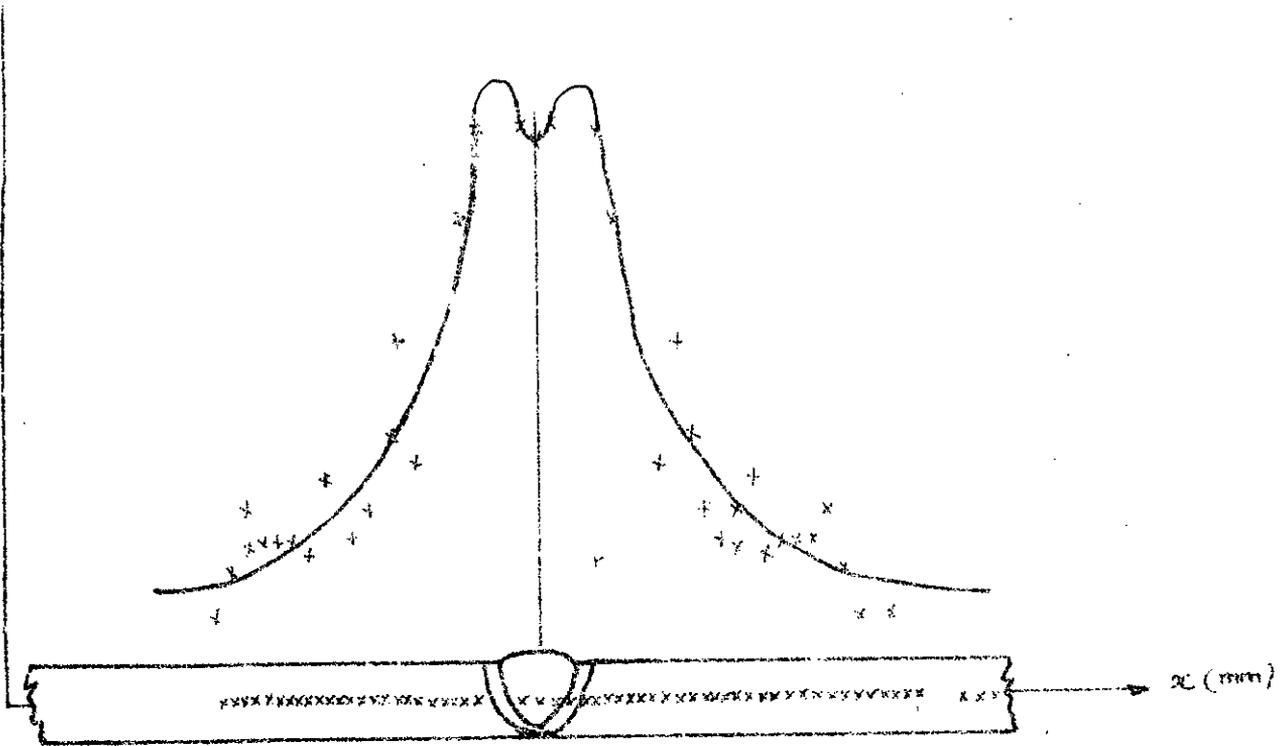


fig II. 5 courbe de dureté VICKERS

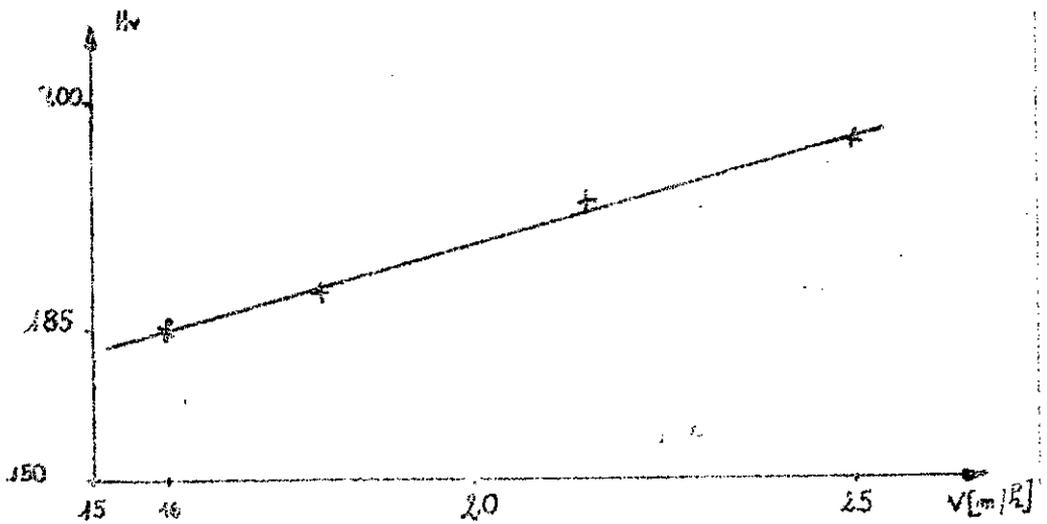


fig II. 6

Courbe Hv en fonction de la vitesse V [m/R]  
notant que Hv du metal de base = 130

## V-6 CONCLUSION :

Pour un acier de composition donnée, les propriétés des assemblages soudés dépendent principalement de celle de la zone thermiquement affectée. Dans le cas des aciers au carbone, c'est le pouvoir trempant de cette zone qui conditionne la soudabilité ;

Si les structures métallurgiques obtenues dans la zone thermiquement affectée sont satisfaisantes, les conditions adoptées pour le soudage conviennent sans précaution particulière. La modification la plus fréquemment utilisée consiste à augmenter la température initiale des pièces par un préchauffage.  $O_0 = O_p$  pour autant qu'elle ne dépasse pas  $300^\circ \text{C}$ . Si la température de préchauffage est trop élevée et si la réalisation pratique de l'assemblage le permet, on augmente la quantité de chaleur  $Q = Q_{PC}$ .

Les transformations métallurgiques qui apparaissent au refroidissement, dans la zone thermiquement affectée du joint soudé s'accompagnent de traitement mécanique. Les structures métallurgiques obtenues dépendent principalement des températures maximales atteintes et des durées de refroidissement. La détermination des conditions de soudage part s'effectuer :

- Soit par une méthode empirique caractérisant le pouvoir trempant de l'acier par un paramètre appelé carbone équivalent.
- Soit par une méthode basée sur la fixation d'une valeur limitée minimale  $DT_L$  de la durée de refroidissement  $DT$   $800-500$  pour laquelle les structures métallurgique de la zone thermiquement affecté sont satisfaisantes.

## VI- CHOIX D'EQUIPEMENT POUR LE SOUDAGE A L'ARC AUTOMATIQUE SOUS FLUX.

### VI- I GENERALITES :

Pour assurer un fonctionnement correcte de l'arc, les sources de courant (poste de soudage), doivent satisfaire à 2 exigences :

I- Il s'agit de fournir aux bornes de l'arc un courant ayant la tension et intensité adéquates pour le soudage.

2- Les postes doivent supporter sans dommages les brusques variations de tension et d'intensité inhérentes à l'opération de soudage.

Le choix du poste de soudage dépend des facteurs suivants :

- La puissance électrique nécessaire ;
- La nature de la force motrice dont on dispose ;
- Les conditions d'utilisations ;
- Les exigences de la compagnie distributrice d'électricité ;
- Le mode de réglage du courant de soudage .

L'équipement du soudage à l'arc automatique comporte :

- I- Un générateur de courant (transformateur)
- 2- Une tête de soudage ; qui peut être montée sur des chariots ou sur des potences. Ces derniers assurent le déplacement et le positionnement de la tête par rapport à la pièce à souder.

- Coffret de commande et de régulation ;
- Groupe motoreducteur avec dispositif d'entraînement du fil.
- Tube, machoires et en bout de contact.
- Dispositif de positionnement de la tête.
- Porte bobine.
- Bac à flux avec aspirateur.

VI. -2 DESCRIPTION DU TETE DE SOUDAGE A L'ARC AUTOMATIQUE  
T.C- I7 M.

La tête de soudage TC-I7M est monté sur un chariot automoteur. Le chariot peut se déplacer à différent vitesse suivant les besions du régime de soudage. La transmission d mouvement entre le moteur et les galets du chariot on d'entraînement des fils est assuré par 2 motoreducteurs indépendant ; chacun de ces deux à un couple d'engrenage changeable pour assurer le changement de la vitesse. La tête de soudage TC-I7M est alimentée avec le courant alternatif par un transformateur TCD-500 T avec un rendement de 87 %. Elle peut exécuté des soudes bout à bout avec ou sans préparation des bords ; de soudes on angle à électrode incline. Toutes les pararties du dispositif TC-I7M, sauf le moteur et le motoréducteur d'entraînement du chariot peuvent pivoter autour de l'axe du moteur ; à l'aide d'un vis sans fin et une roue ce qui permet d'effectuer des soudures d'angle à électrode incliné.

### VI-3 LES DONNEES.

Le poids du chariots à vide 45 kg.

La vitesse de soudage  $V_s = (16-126 \text{ m/h})$ .

La vitesse d'entraînement du fil  $V_f = (52-403 \text{ m/h})$ .

L'intensité du courant de soudage  $I_s = (200 \text{ } \underline{\quad} \text{ } 2000 \text{ A})$ .

La tension de soudage.  $U_s = (20 \text{ } \underline{\quad} \text{ } 80 \text{ V})$

D'après D.I.N 8559 nous choisissons une bobine de type 25 avec les dimensions 5I/300X100-15.

0" Diamètre intérieur  $D_i = 51 \text{ mm}$

Diamètre extérieur  $D_e = 300$

Largeur de la bobine  $L = 100 \text{ mm}$

Le poid de la bobine avec fil électrode  $P_b = 15 \text{ kg}$

Capacité de la bac du flux = 10 l

Les flux utilisées ont une densité maximale  $d = 1,5 \text{ kg/l}$  dont

le poid du flux  $P_f = 15 \text{ kg}$ .

Le poid total du chariot en charge.

$$P_t = P_o + P_f + P_b = 45 + 15 + 15 = 75 \text{ kg.}$$

### VI. 4 CALCUL DE LA PUISSANCE UTIL POUR L'ENTRAINEMENT DU CHARIOT ET FIL.

1. La puissance absorbe par le chariot :

Les forces exterieures appliques sur le chariot sont :

( - P : poid du chariot

( -  $R_r$ : résistance au roulement.

( -  $R_x$  = trainée.

pour vaincre ces résistances on doit fournir un effort  $F$ .

$$F = F \text{ ext (appliquée sur le chariot)}$$

$$F = R_x + R_r + P$$

Rx = 0 car la vitesse est très faible.

Rr = résistance au roulement dépend de la nature du sol.

Rr = P.f ou f = T g y = coefficient de frottement.

En raison des pertes additionnelles au roulement et pendant l'opération de soudage la résistance au roulement est calculée par la formule suivante :

W = Rr + W<sup>I</sup> = QP (App - levage CM<sub>4</sub>) ou = coefficient de friction donné par le constructeur , on estime Q

Q = 100  $\frac{N}{KN}$  .

N.B : a cause du poids de la machine qui est très faible notre système sera sur dimensionné par ce que les formule des valeurs très faibles.

W = 100 X 750 . 10<sup>3</sup> = 75 N

Pa = W.Vs =  $\frac{75 X 126}{3600}$  = 2,625 W

malgré qu'on a majoré Q la puissance reste très faible dont on estime + = 60 W.

2- Calcul de puissance de debobinage du fil électrode ' .

2-I calcul de la force de debobinage.

Pendant le debobinage le fil électrode subit une déformation plastique due à la force de debobinage fournie par le moteur . Cette force est donnée par la formule suivante :

F = Kf . de<sup>3</sup> . II

8 R.

R = Rayon de la bobine.

de = Diamètre du fil-électrode.

Kf = f(2 ξ) = contrainte d'écoulement du matériau.

$$\xi = \frac{I}{I + \frac{2R}{de}} \quad I00 = \text{déformation.}$$

ou R = 300 mm ; de = (2  $\div$  6 mm )

D'après les différentes courbes Kf = f(ξ) pour les aciers doux, faiblement alliés et inoxydables on a lit pour 2 ξ = 1,96 X 2 qui correspond à de = 6mm ~~Kf~~ 800 Mpa.

$$\text{donc } F = \frac{Kf \cdot de}{8 R} \cdot \Pi = \frac{800 \cdot 6}{8 \cdot 300} \cdot \Pi = 22,62 \text{ dan}$$

La puissance absorbe pour l'entrainement du fil sur

$$P_b = F \cdot V_f = 226,2 \times 402 = 43,8 \text{ W.}$$

$$\eta = \frac{3600 \times (0,78)^2}{0,95}$$

3- Puissance utile totale pour l'entrainement du mécanisme.

$$P_u = P_b + P_c$$

Pb = Puissance utile pour le débobinage.

Pc = " " pour le déplacement du chariot.

$$P_u = 43,8 + 60 = 103,8 \text{ W.}$$

4-Chariot du moteur :

Les critères de choix du moteur sont les suivants :

- Condition de marche : vitesse constante.

- Pas de grande variation du couple résistant.
- Le nombre d'enclenchement par heure est estimé à 10 fois en vertu de ces critères , notre choix se porte sur un moteur asynchrone à 2 sorties avec arbre horizontale.

Les caractéristiques du moteur seront :

type : DIA4 - 253 avec  $n = 1420$   $tv/mn$ ,  $P = 0,18$  kw.

## VI.-5 CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU REDUCTEUR.

VI. 5-I SCHEMA CINEMATIQUE : Voir fig VI-I.

Le mécanisme se compose , de 2 reducteurs entraînés par un moteur électrique M. Le réducteur n° I se compose de 3 étage avec des engrenages à roues et vis sans fin 1,2,3,4,7 et 8 . Le couple 5 et 6 à dentures droites est chargeable pour assurer les variations de vitesse.

Réducteur n° II pour l'entraînement du fil électrode ; il est formé de 2 couple roue vis sans fin I et 2 ; 5 et 6 d'un couple à denture droite changeable à chaque fois quand on change le régime de soudage.

## VII-5-2 CALCUL DES ENGRENAGE. :

Une dent résiste localement à la pression, globalement à une déformation apparentée à une déformation de flexion Il existe plusieurs modèles de calcul, qui diffèrent par le point d'application de l'effort entre les dents et des simplifications admise.

En générale on emploi la méthode de G. Henriot pour les engrenages fortement chargés et la méthode de levis pour les engrenages de bonne mécanique.

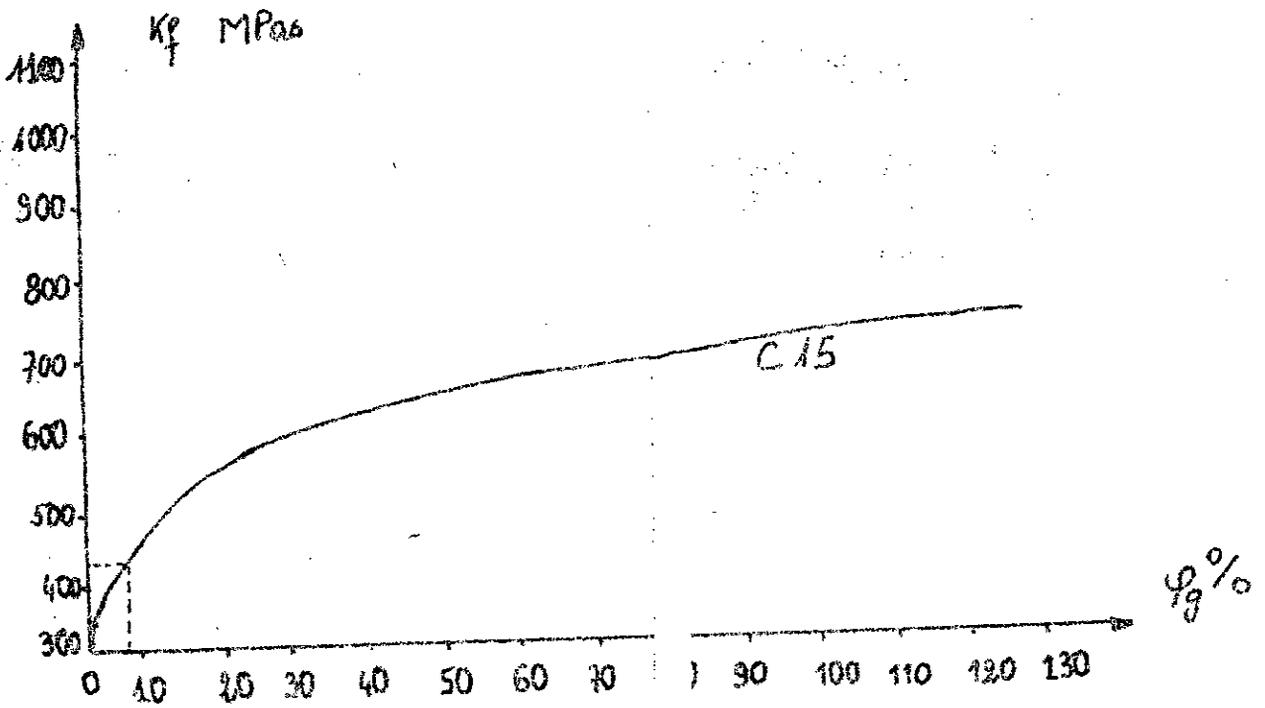


fig VI.1 Courbe de la contrainte d'écoulement en fonction du degré de déformation

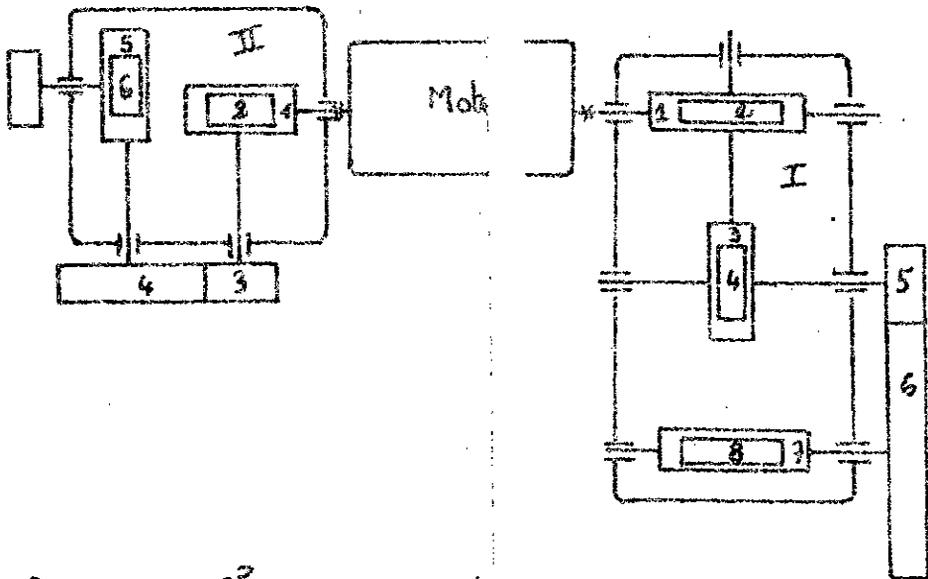


fig VII.2 Chaîne cinématique des deux réducteurs

Notre calcul se limite par le dimensionnement du redu-  
teur n° 2 fig VII-I pour l'entrainement du fil les autres  
parties de la machine feront l'objet d'un autre projet  
de rin d'étude qui sera étudié prochainement.

VII.-5-3 DETERMINATION DES RAPPORTS DE TRANSMISSION :

Le rapport de transmission  $I_g = \frac{N}{N_s} = \frac{I_1 \times I_2 \times I_3}{I_2}$

$n_1$  = Nombre de tour d'entree par minute

$n_5$  = " " " à la sortie. " "

$I_1$  = rapport de réduction du 1er couple

$I_2$  = " " " du 2eme couple.

$I_3$  = " " " du 3eme couple.

nous prenons le diamètre du galet moteur qui entraine  
le fil électrode  $d_g = 70$  mm donc :  $V_f = (52-403)$  (m/h)

$n_s = \frac{V_f}{d_g} = (3,94 - 30,54)$  (tr/mm).

$I_g = \frac{n_1}{n_s} = \frac{I_420}{n_s} = (360,3 - 46,5)$

Determinons  $T_2$  max et minimum pour  $V_f = (52 - 403)$  m/h

$I_{gI} = I_2 \cdot \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_1 \cdot d_g}{V_f I} = 360,3$  I avec  $V_f I = 52$  m/h

nous divisons  $\frac{I}{2} = \frac{I_2}{I_2'} = \frac{V_f I_2}{V_f I} = \frac{360,3}{46,5} = 7,75$

Puisque ce couple est changeable avec entraxe  $a = iste$   
 $a = m (Z_3 + Z_4) = iste = Z_3 + Z_4 = iste.$

Si nous posons  $I_2 = \frac{Z_4}{Z_3}$   $I_2' = \frac{Z_3}{Z_4}$   $I_2 = \frac{I}{I_2'} (3)$

de 3 on tire que  $I_2^2 = 7,75$   $I_2 = 2,783$  rapport Max  
 $I'_2 = 0,36$  rapport mm

dans notre cas

I- Calcul du Ier couple roue-vis sans fin (I et 2)

Par sa continuité, le filet de la vis et plus résistant que la denture de la roue le calcul porte donc sur les dents de celle-ci vue que  $I_2 = (0,36 \div 2,78)$  le calcul se fait pour le cas défavorable c'est à dire pour  $I_2 = 2,78$ .

Nous choisissons comme matériau A 75 pour la roue et lavis avec  $T_{adm} = \frac{9 \text{ dan}}{\text{mm}}$

a) Prédétermination du module :

$$\text{D'après la formule } mn \geq 10^3 \sqrt{\frac{II P'}{K_n 5 Z_2 W_2}} \quad (I) \quad (6)$$

Nous prenons le rendement du roue - vis sans fin  $\eta = 0,8$

$P^I = P \cdot \eta$  puissance à transmettre.

$$P^I = 90 \times 0,8 = 72 \text{ w.}$$

$$K_n = \frac{K}{\cos B_2} \text{ ou } K = 10 \text{ généralement } (6)$$

$$n_2 = 109,23 \text{ tr/mn}$$

$$W_2 = 11,43 \text{ rd/s}$$

$$\text{Prenons } B_1 = 60^\circ$$

$$B_e = 90^\circ - B_1 = 30^\circ.$$

$$II = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = 13$$

$$Z_1 = 4 \text{ /filets d'où } Z_2 = 52$$

$$K_n = \frac{10}{\cos 30} = 11,54$$

$$m_n \approx 10 \sqrt[3]{\frac{11 \times 72}{11,54 \times 90 \times 52 \times 11,43}} = 1,08 \text{ mm}$$

Nous prenons  $m_n = 2 \text{ mm}$  module réel  

$$m_t = \frac{m_n}{\cos B_2} = 2,309 \text{ mm}$$

$$D_2 = m_t Z_2 = 2,309 \times 52 = 120 \text{ mm}$$

$$d_I = \frac{Z_I m_n}{\cos B_1} = \frac{2 \times 4}{\cos 60} = 16 \text{ mm}$$

$$b = k_n m_n \cos B_2 = 11,54 \times \cos 30 = 20$$

b) Vérification du dimensionnement des engrenages d'après G. Henriot.

I. Calcula la rupture des engrenages :

D'après G. Henriot pour A 75 on lit

$$R_r = 75 \frac{\text{dan}}{\text{mm}^2} ; HB = 223 \text{ (dureté bunell)} ; \sigma_{lim} = 19 \frac{\text{dan}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_H = 79 \frac{\text{dan}}{\text{mm}^2} \times C 42$$

$$T_{adm} = \sigma_{lim} B. m_n \frac{K_v. K_b^2 . K_m . K_A}{y. y_f. Y_B}$$

$$\sigma_{lim} = \text{Contrainte limité à la rupture} = \frac{19 \text{ dan}}{\text{mm}^2}$$

$$b = \text{largeur de la denture} = 20,7 \text{ mm}$$

$$m_n = \text{module réel de taillage} = 2 \text{ mm}$$

$$k_v = \text{facteur de vitesse} = \frac{12}{12 + v} = 0,911$$

$$Vt = \text{vitesse} = \frac{11 \cdot 109,23 \cdot 120}{3 \cdot 10^4} = 1,37$$

$$Kbl = \text{facteur de durée} = \left(\frac{10^7}{Nc}\right) \frac{1}{10} \text{ avec } Nc = 60 \cdot N.T.$$

T = durée de fonctionnement.

$$kbl = 1,03$$

$$Km = \text{facteur de portée} \frac{b}{B^2} \quad I \quad km = I$$

KA = facteur de service KA + I

$$Y = \text{facteur de conduite} = \frac{I}{1,22} = 0,62$$

$$Y = \text{facteur de forme} = 2,35$$

$$YB = \text{facteur d'inclinaison} = 0,75.$$

$$Tadm = 19 \times 20 \cdot 2 \cdot \frac{0,911 \cdot 1,03 \cdot I \cdot I}{0,62 \cdot 2,35 \cdot 0,75} = 493,62 \text{ dan.}$$

T = 10,5 Tadm la condition de rupture est largement vérifiée.

2- Calcul à la pression superficielle.

$$Tadm = 6H^2 \cdot b \cdot dI \frac{Cr \cdot Kv \cdot Kbl \cdot Km \cdot KA}{ZE^2 \cdot ZB^2 \cdot ZC^2 \cdot \dots \cdot 8}$$

H = valeur limité de base de la pression de hertz =  $79 \frac{\text{dan}}{\text{mm}^2}$

$$Cr = \text{facteur de rapport} = \frac{Z2}{Z2 + Z1} = 0,928$$

$$Kbl = \text{facteur de durée} = \left(\frac{10}{Nc} \cdot \frac{Z2}{Z1}\right) I/6 = 1,052$$

$$ZE = \text{facteur de matériau} = ZE2 = 7000$$

$$ZB = \text{facteur de longueur de contact} \frac{Z2}{B} = 0,83$$

$Z_c = \text{facteur géométrique } Z_c^2 = 2,45$   
 $= \text{facteur de capacité de charge : } = \frac{(200)}{NI} = 1,1$

$T_{adm} = (79)^2 \cdot 20 \cdot I20 \frac{0,928 \times 0,911 \times 1,052 \times IXI}{7000 \times 0,83 \times 2,45 \times 1,1} = 846, \text{Idan}$

$T \leq T_{adm}$  condition de la résistance à la pression superficielle est vérifié.

CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE LA VIS ET LA ROUE I et 2.

Notations	Formules	Vis sans fin (I)	Roue (6)
<del>8888</del> d	-	I6	I20
da	da=d+2Mn	20	I24
df	df=d-2,5mn	11	115
Pn	Pn = Mn $\frac{II}{I}$	6,28	6,28
Pt	Pt = Mt $\frac{II}{I}$	7,25	7,25
H	H = $\frac{II}{t_{g\beta 1}}$ d	29	-
L ou b	-	43,8	20
Z	-	4	52
$\alpha_t^\circ$	-	22,79	36,05°
B°	-	60°	30°

Calcul du 2eme couple (denture droite 3 et 4)

a)- détermination du module m :

on suppose que le pignon est l'élément le plus faible donc les calcul porteront sur ce dernier.

d'après la relation tire (6).

$$m \geq 10^3 \sqrt{\frac{II \cdot P}{Z \cdot K \cdot W \cdot 5}}$$

$n_3 = n_2 = 109,23$  (tr/mm),  $w_3 = 11,43$  rd/s ;  $K = 10$

Ce couple doit être changeable donc  $Z_3 + Z_4 = \text{Constante}$

$$\frac{Z_3}{Z_4} \leq I_g \leq \frac{Z_4}{Z_3} ; 0,36 \leq I_g \leq 2,783$$

Après plusieurs iterration on a trouvé que

$Z_3 = 14$  dents pour  $I = 2,783$

$Z_4 = 39$  dents

$Z_3 + Z_4 = 53$  donc  $Z_3$  varie de 14 à 39 dents

$Z_4$  varie de 39 à 14 dents

le tableau (VII-I) sur la page donc les defferents couple possible avec la vitesse de déplacement du fil.

$$m \geq 10^3 \sqrt{\frac{II \cdot 72}{14 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 43;90}} = 1,76 \text{ mm}$$

le module normalisé  $m = 3$  (mm).

$d_3 = m \cdot z_3 = 42$  (mm)

$d_4 = m \cdot z_4 = 117$  (mm)

$b = km = 30$

b)- Vérification de l'interférence :

la limite d'interférence des dentures ; sera atteinte pour un nombre de dents défini par la relation  $ZI = \frac{2 \cdot y_0}{\sin \alpha}$  (ou  $y_0$  saillie unitaire de la crémaillère , ce nombre minimum de dents étant proportionnel à  $y_0$  , en diminuant  $y_0$  ; ZI diminue . Pour notre cas si on prend  $y_0 = 0,8$  avec  $\alpha = 20^\circ$  nous aurons  $ZI = 14$  dents donc on aura pas d'interférence.

c)- Vérification du dimensionnement des engrenages :

I- calcul à la rupture.

utilisant la même formule :  $T_{adm} = \sigma_{lim} \cdot b \cdot m$

$\frac{K_y \cdot K_{bl} \cdot K_m \cdot K_a}{Y_\xi \cdot y_f \cdot Y_B}$

Nous dressons sous forme d'I tableau les valeurs de ces différents facteurs d'après (G. HENRIOT).

$\sigma_{lim}$ (dan)	$m$ (mm)	$b$ (mm)	$K_v$	$K_{bl}$	$K_m$	$K_a$	$Y_\xi$	$y_f$	$Y_B$
I9	3	30	0,96	0,8	I	I	0,67I	2,38	I

$$T_{adm} = I9 \cdot 30 \cdot 3 \cdot 0,96 \cdot 0,8 \cdot I \cdot I : 822,35 \text{ dan}$$

$$0,67I \cdot 2,38 \cdot I$$

T 300 N  $T_{adm}$  donc la condition de rupture est virifié.

2- Calcul à la pression superficielle :

$$T_{adm} = \sigma^2 H \cdot b \cdot dI \frac{Cr \cdot K_v \cdot K_{bl} \cdot K_m \cdot K_a}{Z_{E2} \cdot Z_B \cdot Z_c^2 \cdot \delta}$$

Les valeurs de ces différents facteurs sont donnés sur le tableau suivant :

$\sigma^2 H$ (dan/mm <sup>2</sup> )	b (mm)	d' (mm)	Cr	Kv	Kbl	Km	Ka	Z <sup>2</sup> <sub>E</sub>	Z <sup>2</sup> <sub>B</sub>	Z <sup>2</sup> <sub>c</sub>	δ
79	30	42	0,735	0,96	0,686	I	I	7000	0,755	3,12	I, I

$$T_{adm} = (79^2) \cdot 30 \cdot 42 \cdot \frac{0,735 \cdot 0,96 \cdot 0,686 \cdot I \cdot I}{7000 \cdot 0,755 \cdot 3,12 \cdot I, I} = 209,8 \text{ DAN.}$$

T Tadm la condition à la pression superficielle est vérifié.

Symboles	Formules	Pignons (3)	Roue (4)
Saillie ha	ha = I m	3 (mm)	3 (mm)
Creux hf	hf = I,25 m	3,75 (mm)	3,75 (mm)
Largeur b	b = km	30 (mm)	30 (mm <sup>o</sup> )
Pas P	P = II. m	9,42 (mm)	9,42 (mm)
S : e epais	s = e = $\frac{P}{2}$	4,71 (mm)	4 71 (mm)
d	mz	42 (mm)	117 (mm)
da	da = d - 2,5	48	125
df	df = d - 2 5m	40,5	109,5

Vf (m/h)	Z3	Z4	Vf (m/h)	Z3	Z4
52	I4	39	I50	27	26
57	I5	38	I62	28	25
62,5	I6	37	I75	29	24
68,5	I7	36	I89	30	23
74,5	I8	35	204	31	22
81	I9	34	221	32	21
87,5	20	33	239	33	20
95	21	32	260	34	19
104	22	31	282	35	18
111	23	30	311	36	17
120	24	29	335	37	16
129	25	28	367	38	15
139	26	27	403	39	14

Calcul du 3eme couple 1: (5 et 6) roue - vis sans fin

a) prédétermination du module :

D'après la formule tire de (6)

$$m_n = \frac{10^3}{\text{Kn} \cdot 5 \cdot Z_2 \cdot W_2} \cdot \text{II} \cdot P''$$

$$P'' = P \cdot n = 54,72 \text{ (W)}$$

$$\text{Kn} = \frac{K}{\cos B_2} = \frac{10}{\cos 30} = 11,54$$

$$n_4 = 3,925 \text{ (tr/mm)} \quad W_4 = 0,411 \text{ (rd/s)}$$

$$I_3 = n_3 = Z_6 = 10 \quad Z_5 = 5 \quad ; \quad Z_6 = 50 \text{ dents}$$

$$m_n = \frac{10^3}{\text{II} \cdot 54,72} = 3,04 \text{ (mm)}$$

$$\text{II} = 54,90 \cdot 50 \cdot 0,411$$

nous prenons  $m_n = 3 \text{ (mm)}$

$$m_t = m_n = 3,46 \text{ (mm)}$$

$$\cos B_2$$

$$D_6 = m_t Z_6 = 3,46 \times 50 = 173,2 \text{ (mm)}$$

$$d_5 = Z_5 \cdot m_n = 5 \times 3 = 15 \text{ (mm)}$$

$$\frac{\cos B_1}{\cos 60}$$

b = kn mn cos B2 = 30 (mm) pour la roue

b) Vérification du dimensionnement des engrenages (3eme couple roue vis sans fin ).

I- Calcul à la rupture

$$T_{adm} = 5 h m . b . m n \frac{K_y . K_{bl} . K_m . K_A}{Y . Y_f . Y_B}$$

5h m	b	m n	K <sub>y</sub>	K <sub>bl</sub>	K <sub>m</sub>	K <sub>A</sub>	Y	Y <sub>f</sub>	Y <sub>B</sub>
(Dan/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)							
I9	30	3	0,984	I,4	I	I	0,69	2,32	0,75
i									

$$T_{adm} = I9 . 30 . 3 . \frac{0,984 I,4 . I I I}{0,69 \times 2,32 \times 0,0,75} = I962, I \text{ DAN}$$

T= I537,4 Tadm condition de rupture est vérifié.

2- Calcul à la pression superficielle.

$$T_{adm} = 5 M^2 . b . D \frac{C_r . K_v . K_{hl} . K_m . K_A}{z_E^2 . z_B^2 . z_C^2}$$

5 h	b	d	C <sub>r</sub>	K <sub>v</sub>	K <sub>hl</sub>	K <sub>m</sub>	K <sub>A</sub>	Z <sub>E</sub>	Z <sub>B</sub>	Z <sub>C</sub>
(Dan/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)								
79	30	I73,2	0,9I	0,984	I,753	I	I	7000	0,7	2,45

$$T_{adm} = 79 . 30 . I73,2 \frac{0,9I . 0,984 . I,753 . I . I}{7000 . 0,7 . 2,45 . 2,45 . I,65} = 2568,38 \text{ DAN}$$

T Tadm la condition à la pression superficielle est verifié.

Les caractéristiques géométrique de la vis et la roue  
5et 6.

Notations	formules	vis sans fin(5)	roue (6)
d		30	173,2
da	$da = d + 2 mn \text{ (mm)}$	36	179,2
df	$df = d - 2 \cdot 5 mn \text{ (mm)}$	22,5	165,7
pn	$pn = mn \cdot \frac{\pi}{2} \text{ (mm)}$	9,42	9,42
pt	$Pt = mt \cdot \frac{\pi}{2} \text{ (mm)}$	10,87	10,87
H	$H = \frac{\pi d}{2 \cdot 2,5} \text{ (mm)}$	54,41	-
L ou b	-	L=64,4 (mm)	b:30(mm)
Z		5	50
		$22^{\circ} 79'$	$36,05^{\circ}$
B		$60^{\circ}$	$30^{\circ}$

## ETUDE DYNAMIQUE :

## I- Effort sur les dentures (roue-vis sans fin).

Les réactions de la vis sur la roue se traduit par une force  $F$  dirigé suivant la normale commune aux dentures en contact, cette force  $F$  se décompose suivant les axes X,Y,Z soit :

$$\begin{aligned} T_{vi} &= \text{force tangentielle à la vis} = A_{Ri} \\ T_{Ri} &= \text{" " " à la roue} = A_{Ri} \\ A_{Vi} &= \text{" " axiale à la vis} \\ A_{Ri} &= \text{" " " " la roue} \\ R_{Vi} &= \text{" " radiale " la vis} = R_{Vi} \\ R_{Ri} &= \text{" " " " la roue.} \end{aligned}$$

Calcul de l'arbre N° I Fig IV.

$$A_{r2} = T_{vI} = \frac{P}{W} \cdot \frac{2}{D} = \frac{90 \times 2000}{148,7 \cdot 16} = 75,65 \text{ N}$$

$$T_{R2} = A_{vI} = T_{vI} \operatorname{Tg} B_I = 131,04 \text{ N}$$

$$R_{r2} = R_{vI} = \frac{T_{vI} \cdot \operatorname{Tg} \alpha_n}{\cos B_I} = 55,07 \text{ N}$$

Réactions sur les appuis

nous estimons  $L = 64 \text{ mm}$

$$\text{suivant l'axe X : } R_{A_x} = R_{B_x} = \frac{A_{vI} \cdot d_I}{2L} = 16,38 \text{ (N)}$$

$$\text{" " Y : } R_{B_y} = R_{A_y} = \frac{R_I e_2 + 75,65}{2} = 37,82 \text{ N}$$

$$\text{Résultante en A : } R_A = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2} = 46,78 \text{ N} = R_B$$

$$\text{Calcul moment de torsion } C_t = \frac{P}{w} = \frac{90}{148,7} = 0,605 \text{ N.m}$$

$$\text{Moment de flexion } m_f = R_A \frac{L}{2} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Moment idéal } m_i = \sqrt{m_t^2 + m_f^2} = \left[ (0,605^2) + (1,5^2) \right]^{\frac{1}{2}} = 1,614 \text{ N.m}$$

$$\text{le diamètre de l'arbre } d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot m_i}{R_P}} = \left( \frac{10 \cdot 1,614 \cdot 10^3}{90} \right)^{\frac{1}{3}} = 5,6 \text{ m}$$

Nous prenons un diamètre pour l'arbre  $D = 10 \text{ mm}$

Nous choisissons un matériau pour les arbres comme cel des vis pour que l'usinage des vis soit effectué directement sur les arbres le matériaux sera X C 42.

Calcul du 2eme arbre

$$\text{Tr}_3 = \frac{P_2 \cdot 2}{w_2 d} = \frac{72 \cdot 2000}{11,43 \cdot 42} = 300 \text{ N}$$

$$R_3 = T_3 \cdot \text{Tg} \alpha = 109,2 \text{ N}$$

Réaction sur les appuis.

$$R_{cz} = R_{DZ} = \frac{A r_2 \cdot D_2}{2 L} = \frac{75,65 \cdot 120}{80} = 113,47 \text{ N}$$

$$R_{Dx} = \frac{\text{Tr}_2 \cdot 20 - R_3 \cdot 25}{40} = 2,73$$

$$R_{Cx} = \frac{\text{Tr}_2 \cdot 20 + 65 R_3}{40} = 243$$

$$RDY = \frac{20}{40} Rr2 - 25T3 = -160 \text{ N}$$

$$Rcy = \frac{65 T3 + 20 Rr2}{40} = 515 \text{ N}$$

Resultantes : en C  $R_c = \sqrt{R_{cy}^2 + R_{cx}^2} = 569,4 \text{ N}$

: en D  $R_D = \sqrt{R_{Dy}^2 + R_{Dx}^2} = 160,02 \text{ N}$

Calcul du moment de torsion  $m_t = \frac{P_2}{w_2} = 6,3 \text{ N. m}$

Le moment de flexion  $m_{f_{\max}} = \sqrt{m_{fx}^2 + m_{fy}^2} = \left[ (F_3 \cdot 25^2) + (R3 \cdot 25)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 8 \text{ Nm}$

Moment idéal  $m_i = \sqrt{m_{f_{\max}}^2 + m_t^2} = 10,2 \text{ m}$

d  $\sqrt[3]{\frac{10 \cdot m_i}{RP}} = 11,33$  on prend d = 15 mm

Calcul du 3eme arbre :

$$Tv_5 = Av_6 = \frac{P_3 \cdot 2}{w_3 \cdot d} = \frac{7200 \cdot 95}{4,11 \cdot 30} = 1109,5 \text{ N}$$

$$Tr_6 = Av_5 = Tv_5 \cdot \text{Tg BI} = 1921,7 \text{ N}$$

$$Rv_5 = R_{r_6} = \frac{Tv_5}{\text{Cos BI}} = 807,64 \text{ N}$$

$$T3 = T4 = 300 \text{ N}$$

$$R3 = R4 = 109,2 \text{ N.}$$

$$R_{EZ} = R_{FZ} = \frac{Av5 \cdot d}{2 L} = \frac{1921,7 \cdot 30}{2 \times III} = 259,7 \text{ N}$$

$$R_{EX} = \frac{Tv5 \times 43 + III \times R4}{86} = 695,7 \text{ N}$$

$$R_{FX} = \frac{Tv5 \cdot 43 - 25 R4}{86} = 523$$

$$R_{FY} = \frac{Rv5 \cdot 43 - 25 T4}{86} = 316,61 \text{ N}$$

$$R_{EY} = \frac{Rv5 \cdot 43 + III T4}{86} = 791,03 \text{ N}$$

$$\text{Resultantes : en E R.E} = (695,7)^2 + (791,03)^2 = 1053,87 \text{ N}$$

$$\text{en F . RF} = (523)^2 + (316,61)^2 = 611,37 \text{ N}$$

$$\text{Calcul du moment de torsion : } mt = \frac{P3}{W3} = 16,64 \text{ N.m}$$

$$\text{" du moment de flexion : } mf_{\text{max}} = mf_x^2 + mf_y^2 = 26,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Moment idéal } mi = mf_{\text{MAX}}^2 + mt^2 = 31,12 \text{ N}$$

$$\text{Le diamètre d sera } d = \sqrt[3]{\frac{10 mi}{RP}} = 15,12 \text{ mm}$$

Nous prenons  $d = 20 \text{ mm}$

calcul du 4eme arbre. :

$$Tg = \frac{P4 \cdot 2}{W4 \cdot d \cdot 0,4II} = \frac{90 \times 0,64 \cdot 0I95 \cdot 2000}{70} = 3804 \text{ N}$$

$$RG_x = R_{Hx} = \frac{Ar6 \cdot d}{2 L} = \frac{II09,5 \cdot 173,2}{2 \cdot 85} = 1130,4 \text{ N}$$

$$RF_z = RG_z = \frac{Tr6}{2} = \frac{1921,7}{2} = 960,85 \text{ N}$$

$$RF_y = \frac{25 Ar_2 - 35 Tg}{50} = 2108 \text{ N}$$

$$RG_y = \frac{25 Ar6 + 85 Tg}{50} = 7021,55 \text{ N}$$

$$mf \text{ max} = 133 \cdot I4 \text{ N.m}$$

$$mt = \frac{P4}{W4} = 133 \cdot I4 \text{ N.m}$$

$$Mi = \sqrt{mf^2 \text{ max} + mt^2} = 188,3 \text{ N.m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 Mi}{RP}} = 27,5 \text{ mm nous prenons } d = 30 \text{ mm}$$

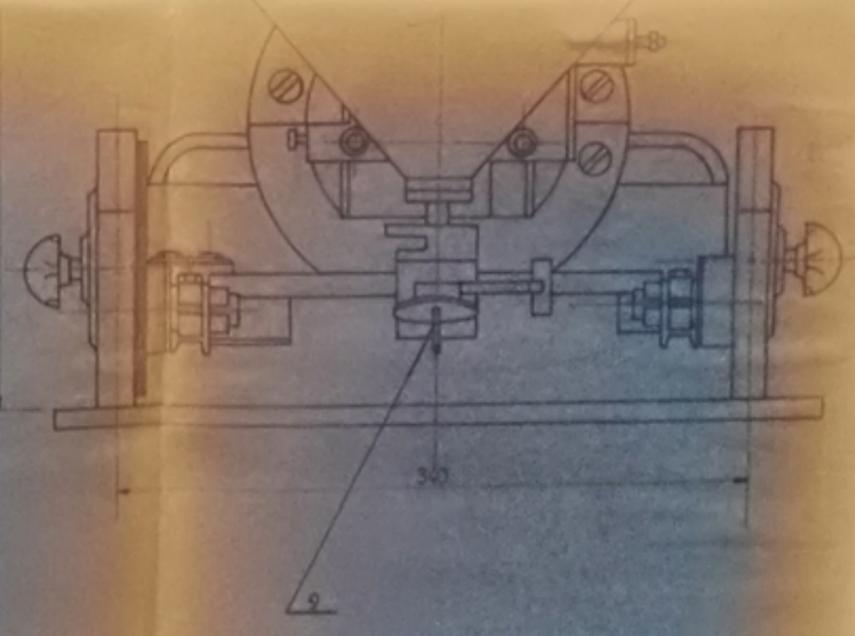
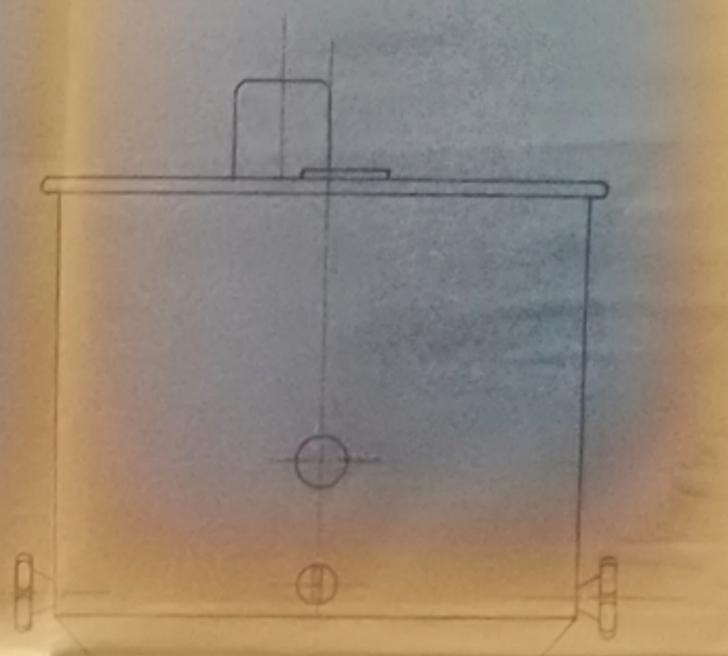
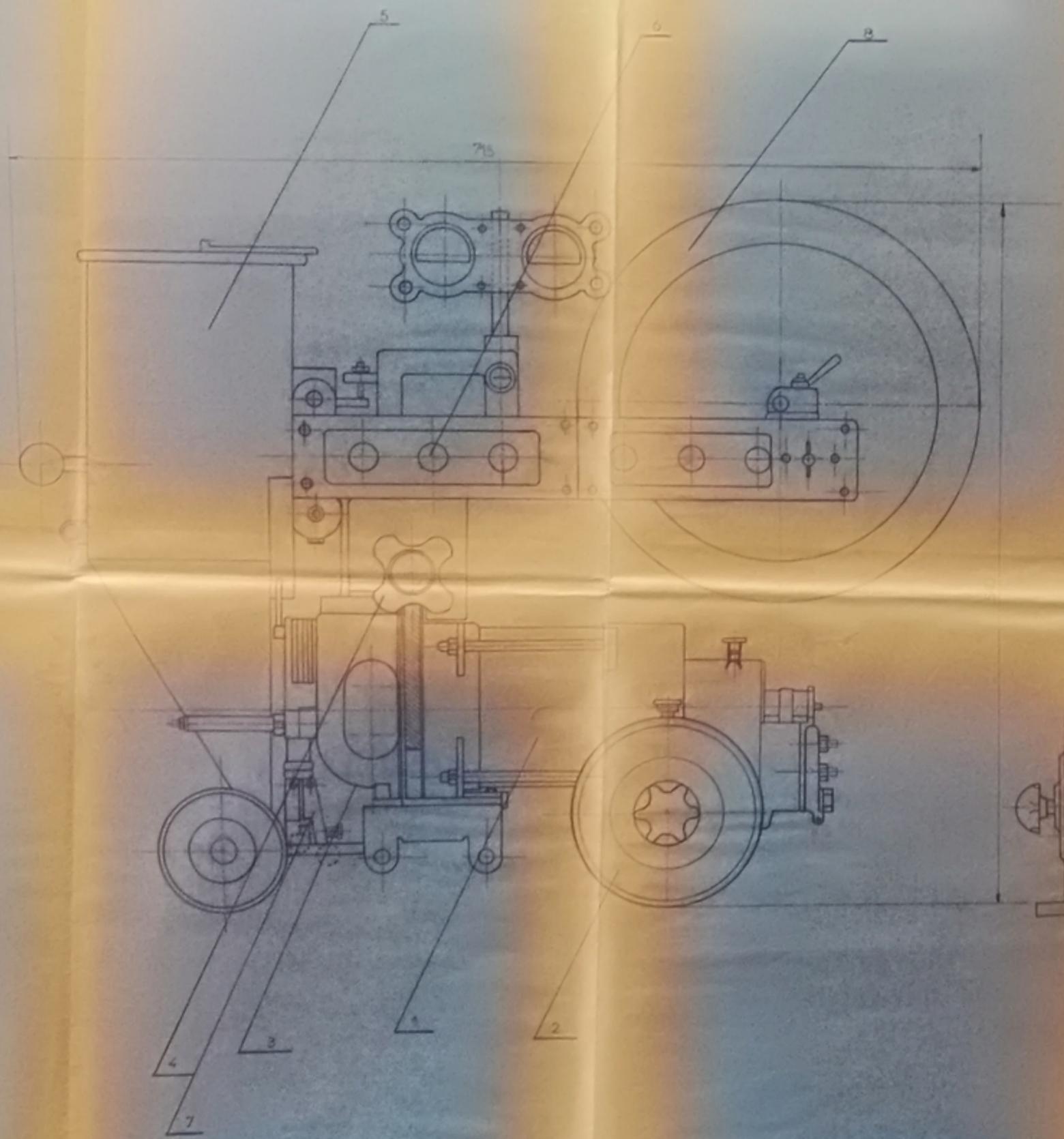
- CONCLUSION -

L'étude complète du soudage à l'arc automatique sous flux est loin d'être facile, elle est en réalité beaucoup plus complexe et nécessite le travail en collaboration d'un groupe de spécialistes (Mécaniciens ; Métallurgiste ; chimiste). En effet ; la partie la plus délicate de cette technique de soudage réside dans le choix du régime de soudage, du coup le fil-flux et le temps de refroidissement afin d'obtenir une structure métallurgique avec les propriétés optimales ; pour l'extension de cette étude, nous avons essayé de présenter la soudeuse T.C I7 M avec le système de transmission de mouvement pour l'avancement du fil.

Malgré tous les problèmes que nous avons rencontré lors de notre travail, surtout le manque de documentation et l'équipement au niveau du laboratoire pour l'élaboration de cette ; étude ; aussi bien le chemin long parcouru pour exécuter les cordons de soudure à l'I.N.H nous avons essayé à travers ce modeste travail de toucher aux principaux points. Par ailleurs , on peut dire que ce projet nous a permis de connaître certaines notions qu'on n'a pas rencontré dans le cycle de formation et en particulier le calcul du régime de soudage à partir de l'énergie nominale afin d'éviter les cas défavorables de point de vu structure des aciers et les techniques de l'élaboration des échantillons pour la micrographie et macrographie. Avant de terminer, je souhaite que d'autres étudiants reprendront ce travail pour une étude approfondie, en pensant au dimensionnement du mécanisme de soudage automatique sous flux. Je souhaite aussi que cette thèse viendra en aide à tous ceux qui se penchent et s'intéressent au domaine du soudage des aciers à l'arc automatique sous flux.

-- B I B L I O G R A P H I E --

- 1) - Application du soudage aux constructions.  
R. BAUS-W. CHAPEAU - (1977).
- 2) - Soudage (éléments de conception et de réalisation).  
R. VARISELLAZ -(1982).
- 3) - Mise en forme des métaux tome 2  
PIERRE BAQUE ( 1973 ).
- 4) - Métallurgie de la soudure.  
D. SEFERIAN (1965).
- 5) - Projet de fin d'étude BARDOKHINE.
- 6) - Calculs en construction mécanique (aide mémoire)  
DUNOD ( 1971 ).
- 7) - Les procédés de soudage DUNOD (1971).
- 8) - Cours de T.E 3 ELEOD.A
- 9) - Revue de soudage (1982).



PT103385

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

- 2 Fil electrade
- 3 Bobine
- 4 Mochoire de contact
- 5 Tableau de commande
- 6 Bac de flux
- 7 Vis sans fin
- 8 Reducteur
- 9 Galet
- 1 Moteur

Designation

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Libelle	173	SOUDEUSE	ENPA DEP MECA MOUL
Code	173	IC 17M	

